

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

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/AFHU6838>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора Талипов О. М., доктор PhD
Ответственный секретарь Калтаев А.Г., доктор PhD

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

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

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

Амренова Д. Т., Барукин А. С., Калтаев А. Г.
Ажыратқыш істен шыққан кезде резервтеу құрылғыларын талдау 11

Байкадамова А. М.
Жаркент геотермалдық су кен орнының перспективті учаскілерінің геотермалдық суларының жылу энергетикалық әлеуетін бағалау 22

Дундуков М. М., Дубинец Н. А., Марковский В. П., Абдрахманов Б. Т., Габдулов А. У.
Феррокорытпапарды өндіру кезінде рудотермиялық пешті тиімді пайдалану 35

Звонцов А. С., Кислов А. П.
Цифрлық байланыс жүйелеріндегі торларды кодтаудың тиімділігін бағалау 45

Исабеков Д. Д.
Қуат трансформаторындағы май деңгейін бақылау 61

Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантілесова А. Б., Жалмагамбетова У. К.
Таратушы электр желілеріндегі электр энергиясының коммерциялық шығындары 70

Исенов С. С., Кайдар А. Б., Шапкенов Б. Қ., Шерязов С. Қ.
Жел энергиясын зерттеу автономиялы электр қамтамасыз жүйесінде 80

Искаков Р. М., Кубентаева Г. К., Қасым Р. Т., Акаев А. М.
Конвективті жылу беру ортасын электр жылытуының сипаттамасы 98

Кулакаева А. Е., Самсоненко А. И., Онгенбаева Ж. Ж., Қойшыбай С. С., Камал Р. Ж.
Белсенді фазаланған антенна торының қуат бөлгішін зерттеу 110

Мехтиев А. Д., Бузяков Р. Р., Шапеннова З. Р.
Төмен қысымды бу электр жылытқышы 123

Мукат А. К.
Қысқатұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштардың энерготімділігін жоғарлату тәсілі 135

Никифоров А. С., Кинжибекова А. К., Приходько Е. В., Арипова Н. М., Карманов А. Е.
Құю шөміштерінің футеровкасының жұмысын талдау 142

Оразова Д. К., Лукпанов Р. Е., Сапеннова Ж. К., Тлеуленова Г. Т.
Қазақстандағы жел энергетикалық қондырғысының негіздері мен іргетасын зерттеу 155

Риттер Е. С., Савостин А. А., Риттер Д. В., Кошеков К. Т., Савостина Г. В. Айна рефлекторларының көмегімен микротолқынды сәулеленуді фокустау.....	165
Сарсикеев Е. Ж., Оразбекова А. К., Сулейменова Г. О. Бетон мен темірбетонда тұтану моделін жасау және электр разрядтарын дамыту.....	176
Ускенбаев Д. Е., Ногай А. С., Ускенбаев А. Д., Жетписбаев К. У., Турмантай С. Балқымадан алынатын жоғары температуралы асқын өткізгіш қосылыстардың түзілуіне және қасиеттеріне жағдайлардың әсерін зерттеу.....	187
Шарипова С. Е., Аканова А. С., Оспанова Н. Н., Шарипов Е. Б. Бидай өнімділігін болжау үшін кіріс деректерді қалыпқа келтіру зонттық желкенді электр станциясының жел энергиясын түрлендіру технологиясының және конструкциясының сипаттамасы.....	202
Шоланов К. С., Омаров А. С. Зонттық желкенді электр станциясының жел энергиясын түрлендіру технологиясының және конструкциясының сипаттамасы.....	211
Шумейко И. А., Касенов А. Ж., Нуркимбаев С. М. Аз қуаттылығы жоғары тиімді жел энергетикалық қондырғы дауылдан қорғанысымен.....	224
Юсупова Ә. О., Потапенко А. О. Сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштерін өлшеудің қолданыстағы схемаларын талдау.....	244
Кузнецова Н. С., Атякшева А. В., Рыбкина Н. В., Атякшева А. Д., Қоршаған ортаның қасиеттерін және арматуралық қаңқаның геометриясын ескере отырып, бетон мен темірбетондағы стохастикалық разрядты арналарды тұтату және дамыту моделін әзірлеу.....	254
Наубетов Д. А., Якубова М. З., Мирзакулова Ш. А., Т. Ф. Сериков Желілік қатынау трафигін бағалаудың параметрлік емес критерийлері.....	265
Нефтисов А. В., Саринова А. Ж., Талипов О. М., Кириченко Л. Н., Казамбаев И. М. Ашық архитектурада микропроцессорлы реле қорғау құрылғыларын құру мүмкіндігі.....	277
Жабалова Г. Г., Онищенко О. Н., Камарова С. Н., Леликова О. Н. «Арселормиттал Теміртау» АҚ 2-ЖЗО жағдайында күл-қож шығару жүйесін қайта жаңарту.....	293

Жакупов А. Н., Жакупова А. Т., Богомолов А. В. 09Г2С болатынан өнімдердің электромагнеттік параметрлерінің олардың механикалық қасиеттеріне тәуелділігі.....	304
Авторлар туралы ақпарат.....	313
Авторларға арналған ережелер.....	331
Жарияланым этикасы.....	342

СОДЕРЖАНИЕ

Амренова Д. Т., Барукин А. С., Калтаев А. Г. Анализ устройств резервирования при отказе выключателя.....	11
Байкадамова А. М. Оценка теплоэнергетического потенциала геотермальных вод перспективных участков жаркентского месторождения геотермальных вод.....	22
Дундуков М. М., Дубинец Н. А., Марковский В. П., Абдрахманов Б. Т., Габдулов А. У. Эффективное использование рудно-термической печи при производстве ферроспалов.....	35
Звонцов А. С., Кислов А. П. Оценка эффективности решетчатого кодирования в цифровых системах связи.....	45
Исабеков Д. Д. Контроль уровня масла в силовом трансформаторе.....	61
Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантлесова А. Б., Жалмагамбетова У. К. Коммерческие потери электрической энергии в распределительных электрических сетях.....	70
Исенов С. С., Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Шерьязов С. К. Исследование ветроустановки в системе автономного электроснабжения.....	80
Искаков Р. М., Кубентаева Г. К., Қасым Р. Т., Акаев А. М. Характерные особенности электронагрева теплопередающей среды конвективной сушилки.....	98
Кулакаева А. Е., Самсоненко А. И., Онгенбаева Ж. Ж., Қойшыбай С. С., Камал Р. Ж. Исследование делителя мощности активной фазированной антенной решетки.....	110
Мехтиева А. Д., Бузяков Р. Р., Шапенова З. Р. Паровой электрообогреватель низкого давления.....	123
Мукат А. К. Способ повышения энергоэффективности асинхронных двигателей с коротко замкнутым ротором.....	135
Никифоров А. С., Кинжибекова А. К., Приходько Е. В., Арипова Н. М., Карманов А. Е. Анализ работы футеровок разливочных ковшей.....	142
Оразова Д. К., Лукпанов Р. Е., Сапенова Ж. К., Тлеуленова Г. Т. Исследование оснований и фундаментов ветроэнергетической установки в Казахстане.....	155

Риттер Е. С., Савостин А. А., Риттер Кошекков К. Т., Савостина Г. В. Фокусировка микроволнового излучения с помощью зеркальных рефлекторов.....	165
Сарсиев Е. Ж., Оразбекова А. К., Сулейменова Г. О. Создание модели зажигания и развития электрических разрядов в бетоне и железобетоне.....	176
Ускенбаев Д. Е., Нозай А. С., Ускенбаев А. Д., Жетписбаев К. У., Турмантай С. Исследование влияния условий на образование и свойства висмутовых высокотемпературных сверхпроводящих соединений, получаемых из расплава.....	187
Шарипова С. Е., Аканова А. С., Оспанова Н. Н., Шарипов Е. Б. Нормализация входных данных для прогнозирования урожайности пшеницы.....	202
Шоланов К. С., Омаров А. С. Описание конструкции и технологии преобразования энергии ветра электростанцией с зонтовым парусом.....	211
Шумейко И. А., Касенов А. Ж., Нуркимбаев С. М. Высокоэффективная ветроэнергетическая установка малой мощности с буревой защитой.....	224
Юсупова А. О., Потапенко А. О. Анализ существующих схем измерения емкостных измерительных преобразователей.....	244
Кузнецова Н. С., Атякшева А. В., Рывкина Н. В., Атякшева А. Д. Разработка модели зажигания и развития стохастических разрядных каналов в бетоне и железобетоне с учетом свойств окружающей среды и геометрии арматурного каркаса.....	254
Наубетов Д. А., Якубова М. З., Мирзакулова Ш. А., Сериков Т. Ф. Непараметрические критерии оценки тенденции сетевого трафика доступа.....	265
Нефтисов А. В., Саринова А. Ж., Талипов О. М., Кириченко Л. Н., Казамбаев И. М. Возможность построения микропроцессорных устройств релейной защиты на открытой архитектуре.....	277
Жабалова Г. Г., Онищенко О. Н., Камарова С. Н., Леликова О. Н. Реконструкция системы золошлакоудаления в условиях ТЭЦ-2 АО «Арселормиттал Темиртау».....	293

Жакупов А. Н., Жакупова А. Т., Богомолов А. В. Зависимость электромагнитных параметров изделий из стали 09Г2С от их механических свойств	304
Сведения о авторах.....	313
Правила для авторов	331
Публикационная этика	342

CONTENT

Amrenova D. T., Barukin A. S., Kaltaev A. G. Analysis of redundancy devices in the failure of the breaker	11
Baikadamova A. M. Assessment of the thermal energy potential of geothermal waters of promising areas of the Zharkent geothermal water field.....	22
Dundukov M. M., Dubinets N. A., Markovskiy V. P., Abdrakhmanov B. T., Gabdulov A. U. Efficient use of the ore-thermal furnace in the production of ferrospals	35
Zvontsov A. S., Kislov A. P. Evaluation of trellis-coded modulation efficiency in digital communication systems	45
Issabekov D. D. Monitoring the oil level in the power transformer.....	61
Issabekov J. B., Issabekova B. B., Zhantlessova A. B., Zhalmagambetova U. K. Commercial losses of electric energy in distributive electric networks	70
Issenov S. S., Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Sheryazov S. K. Wind power research In the system of autonomous power supply	80
Iskakov R. M., Kubentaeva G. K., Kasym R. T., Aksev A. M. Characteristic features of the electric heating of the heat transfer medium of a convective dryer	98
Kulakayeva A. Ye., Samsonenko A. I., Ongenbaeva Zh. Zh., Koyshtybaev S. S., Kamal R. Zh. Research of the power divider of the active phased antenna array	110
Mekhtiev A. D., Buzyakov R. R., Shapenova Z. R. Low pressure steam electric heater.....	123
Mukat A. K. A method for improving the energy efficiency of asynchronous motors with a short-circuited rotor.....	135
Nikiforov A. S., Kinzhibekova A. K., Prikhodko E. V., Aripova N. M., Karmanov A. E. Analysis of the lining of filling ladles	142
Orazova D. K., Lukpanov R. E., Sapenova Zh. K., Tleulenova G. T. Research of the grounds and foundations of a wind power plant in Kazakhstan	155
Ritter E. S., Savostin A. A., Ritter D. V., Koshekov K. T., Savostina G. V. Focusing microwave radiation using mirror reflectors	165
Sarsikeev Ye. Zh., Orazbekova A. K., Suleimenova G. O. Creating a model of ignition and development of electric discharge in concrete and reinforced concrete	176

Uskenbaev D., Nogai A., Uskenbaev A., Zhetpisbayev K., Tursyntay Serua	
Investigation of the influence of conditions on the formation and properties of bismuth high-temperature superconducting compounds obtained from the melt.....	187
Sharipova S., Akanova A., Ospanova N., Sharipov Ye.	
Normalization of input data for wheat yield prediction.....	202
Sholanov K. S., Omarov A. S.	
Description of the construction and technology of wind energy conversion by the power plant with an umbrella sail.....	211
Shumeiko I. A., Kassenov A. Zh., Nurkimbayev S. M.	
Highly efficient low-power wind power plant with storm protection.....	224
Yussupova A. O., Potapenko A. O.	
Analysis of existing measurement schemes of capacitive measuring transducers.....	244
Kuznetsova N. S., Atyaksheva A., Ryvkina N. V., Atyaksheva An.,	
Model achievement for ignition and development of stochastic discharge channels in concrete and reinforced concrete taking into account the properties of the medium and the geometry of the reinforcing frame.....	254
Naubetov D. A., Yakubova M. Z., Mirzakulova S. A., Serikov T. G.	
Nonparametric criteria for assessing the trend of network access traffic.....	265
Neftisov A. V., Sarinova A. Zh., Talipov O. M., Kirichenko L. N., Kazambaev I. M.	
Possibility of building microprocessor relay protection devices on open architecture.....	277
Zhabalova G. G., Onishchenko O. N., Kamarova S. N., Lelikova O. N.	
Reconstruction of the ash and slag removal system in CHP-2 of JSC «Arselormittal Temirtau»	293
Zhakupov A., Zhakupova A., Bogomolov A.	
Dependence of electromagnetic parameters of products from steel 09G2S on their mechanical properties.....	304
Information about the authors.....	313
Rules for authors	331
Publication ethics.....	342

<https://doi.org/10.48081/WZBW5273>

***Д. Т. Амренова¹, А. С. Барукин², А. Г. Калтаев³**

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПРИ ОТКАЗЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Упомянуется, что устройства резервирования при отказе выключателя широко используются уже на протяжении последних 50 лет. Констатируется, что эти устройства обладают одними из самых низких показателей надежности срабатывания среди всех устройств релейной защиты и автоматики. Приводятся процентные показатели неправильных действий устройств резервирования при отказе выключателя, а также основные причины их возникновения. Анализируются три устройства резервирования при отказе выключателя. Первое из них отличается от известных ускоренным отключением короткого замыкания и блокировкой действия устройства путем использования реле снижения тока, второе – использованием датчика срабатывания, прикрепляемого к элементу привода выключателя, третье – увеличением выдержки времени резервных защит генератора. Рассматриваются структурные схемы этих устройств и их работа при возникновении коротких замыканий в электроустановках. Отмечается, что в первом устройстве последовательное включение элементов не только улучшает надежность несрабатывания, но одновременно с этим ухудшает надежность срабатывания. Во втором устройстве некоторые вопросы вызывает механическая прочность введенного датчика срабатывания. Увеличение выдержки времени резервных защит генератора, используемое при реализации третьего устройства, повышает вероятность больших разрушений.

Ключевые слова: УРОВ, выключатель, отказ, надежность срабатывания, надежность несрабатывания, пусковой орган.

Введение

Отказ выключателя является одним из видов повреждений, которые могут возникнуть в электроэнергетической системе. Под отказом выключателя

подразумевают неспособность выключателя разомкнуть свои контакты тогда, когда релейная защита (РЗ) посылает сигнал на его отключение. В результате протекание тока короткого замыкания (КЗ) по электроустановке не прекращается, в этом случае необходимо как можно быстрее отключить другие выключатели (смежные с отказавшим). Для этого в комплект защиты выключателя вводится функция (алгоритм), формирующая команду на отключение других выключателей, называемая устройством резервирования при отказе выключателя (УРОВ) [1].

УРОВ широко применяются уже на протяжении последних 50 лет [2]. УРОВ предназначены для ликвидации повреждений (сопровождающихся отказом выключателей) с минимальными потерями [3] и относятся к системе ближнего резервирования [4–6]. Благодаря УРОВ обеспечивается отключение всех ближайших к отказавшему выключателей, тем самым повреждение локализуется [2; 4]. Согласно [7], все электроустановки напряжением 110–500 кВ должны оснащаться УРОВ.

Неправильные действия (ложные и излишние срабатывания) УРОВ чреваты тяжелыми последствиями для энергосистемы и ее потребителей в целом, т.к. могут вызывать нарушение работы электрической станции (подстанции). Для предотвращения ложной работы устройство снабжается двумя независимыми друг от друга пусковыми органами (ПО). Роль первого ПО выполняет РЗ присоединения, вторым является пусковое устройство (выполняется с помощью реле напряжения или тока), отстраиваемое от тока КЗ [5]. УРОВ запускается при действии РЗ присоединения и имеет выдержку времени большую, чем время отключения выключателя присоединения – если выключатель присоединения не отключился, то УРОВ отключает смежные с ним выключатели, по которым протекает ток КЗ [3]. Для того, чтобы УРОВ не действовало при нормальном отключении выключателя, уставка времени срабатывания выбирается из условия [5]:

$$t_{\text{УРОВ}} = t_{\text{отк.в}} + t_{\text{РЗ}} + t_{\text{РВ}} + t_{\text{зап.}}$$

где $t_{\text{отк.в}}$ – время отключения выключателя; $t_{\text{РЗ}}$ – время возврата РЗ; $t_{\text{РВ}}$ – время, учитывающее погрешность реле времени УРОВ; $t_{\text{зап.}}$ – время запаса.

Выдержка времени УРОВ варьируется в пределах $t_{\text{УРОВ}} = 0,3-0,5$ с [5].

УРОВ должны, в зависимости от топологических схем (мостик, четырехугольник, две системы шин и т.д.), от места повреждения и отказавшего выключателя, реагировать избирательно и посылать сигналы на отключение разных выключателей [2].

Материалы и методы

Несмотря на простоту принципа действия УРОВ [8], на практике построение реальных схем устройства является трудоемким процессом, а сами схемы получаются довольно сложными. Сложность схем обусловлена непрерывной работой по повышению надежности устройств, т.е. для того, чтобы достичь снижения (в идеале исключения) количества ложных и излишних срабатываний, схемы устройства постоянно совершенствуются [3] (как правило, при этом увеличивается количество элементов).

Процент неправильных действий УРОВ составляет 20–30 % [2]. Можно выделить несколько основных причин неправильных действий УРОВ [2]:

- при выводе защиты из работы из-за ее неисправности или по режиму оперативный персонал не отключает пуск УРОВ от этой защиты. В дальнейшем при ее излишнем срабатывании происходит неправильное действие УРОВ;

- при отключении присоединения и не отключенных защитах во время проверки исправности токовых цепей первичным током срабатывают защиты и с учетом появления тока в трансформаторах тока происходит ложная работа УРОВ;

- после отключения выключателя реле из-за механических повреждений (изнашивание контактов, сгорание катушки и т.д.) не возвращаются в исходное до срабатывания состояние;

- сложность исполнения оперативных схем УРОВ, за счет большого количества переключателей выявление всех возможных ошибок при проверке схемы затруднительно.

Для предупреждения выше перечисленных причин неправильных действий УРОВ на практике используют две типовые схемы устройства, которые отличаются друг от друга способами предотвращения этих действий. В первой схеме используют реле положения «Включено» выключателя с дублированием пуска от защиты, во второй контролируют исправность выключателя (для этого подают сигнал на его отключение [3]).

Большинство разработок по УРОВ были выполнены в начале второй половины 20-го века. В основу используемых в настоящее время схем легли разработки [9–11] коллектива (А. Б. Барзам, А. М. Федосеев, Э. П. Смирнов, В. М. Ермоленко, Б. Я. Смелянская, Н. Е. Рибель, В. Н. Красева, Е. В. и др.) «Сектор релейной защиты и устойчивости Теплоэлектропроект» (СРЗиУ ТЭП), который в последующем был переименован в «Отдел релейной защиты, автоматики, устойчивости и моделирования Энергосетьпроект» (ОРЗАУМ ЭСП). В Великобритании в этом направлении известны, например, работы А. Р. Варрингтона [12, 13]. Устройство [14] лучше и надежнее предшествующих

– оно более компактное, не имеет обходных схем, использует меньшее количество реле-повторителей.

УРОВ обладают одними из самых низких показателей надежности срабатывания среди всех устройств релейной защиты и автоматики. Согласно [15], вероятность отказа в срабатывании УРОВ равна $q_{\text{УРОВ}} = 36 \cdot 10^{-3}$ что является вторым показателем по ненадежности (менее надежными являются только устройства автоматического включения резерва).

Целью новых разработок УРОВ является повышение надежности несрабатывания. Для этого вводят всевозможные виды блокировок [2], для каждого выключателя в схему защиты вводятся по два токовых реле (с последовательно соединенными контактами) [5].

Результаты и обсуждение

В [16] автор предлагает ускоренное отключение КЗ и блокировку действия УРОВ путем использования реле снижения тока, т.е. в момент начала отключения выключателя реле снижения тока срабатывает и тем самым разрывает цепь формирования сигнала, посылаемого на реле времени, поэтому выдержка времени выбирается без учета времени работы выключателя.

В структурную схему устройства [16] входят (рисунок 1): присоединения 1-3, подключенные к шинам 4 с помощью выключателей 5-7, соответственно; ТТ 8, вторичной обмоткой подключенный к входу блока 9 РЗ присоединения 1 и к входу реле 10 тока; блок 11 выходных реле; первый 12 (И1) и второй 13 (И2) логические элементы И; реле 14 времени и реле 15 снижения тока.

Устройство [16] работает следующим образом. При КЗ в зоне действия РЗ присоединения 1 (точка К1) запускается блок 9 РЗ и посылает сигнал на отключение выключателя 5. Одновременно срабатывает реле 10 тока и со своего первого выхода посылает сигнал на второй вход логического элемента И 12, на первый вход которого сигнал поступает с выхода блока 9. Элемент И 12 посылает дополнительный сигнал на отключение выключателя 5. Если выключатель 5 отказал в отключении, то через логический элемент И 13, на входы которого сигналы поступают с выхода логического элемента И 12 и с выхода реле 15 снижения тока, запускается реле 14 времени, по истечении выдержки времени подающее сигнал на блок 11. Последний посылает сигналы в цепи отключения выключателей 5–7.

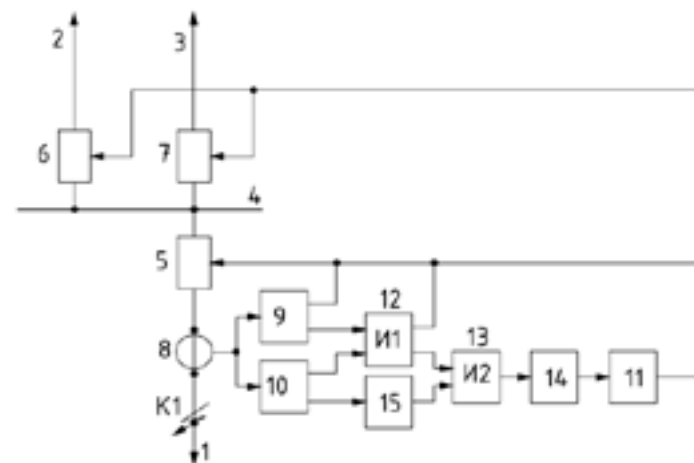


Рисунок 1 – Структурная схема УРОВ

Если выключатель 5 отключится от сигнала блока 9 РЗ и дублирующего сигнала от элемента И 12, то ток в реле 10 протекать не будет. Реле 15 снижения тока срабатывает (размыкает свои контакты), тем самым на входах логического элемента И 13 сигналы будут отсутствовать. Следовательно, реле 14 времени и блок 11 выходных реле не запускаются. УРОВ не работает.

Устройство [16] обеспечивает ускоренную локализацию места повреждения при КЗ, необходимую для повышения стабильности работы энергосистемы. Введение дополнительных последовательно включенных элементов (по схеме И), как известно, улучшает функции несрабатывания, но при этом ухудшаются функции срабатывания.

В [17] предложено устройство ускоренного резервирования при отказе выключателя, которое содержит (рисунок 2, где 1 – линия; 2–4 – выключатели; 5 – сборные шины) блок 6 управления, таймер 7, датчик 8 срабатывания, блок 9 фиксации отключения и логический блок 10. Выключатели 3 и 4 применяют как резервирующие при возникновении КЗ на линии 1. Выход блока 6 управления подключен к цепям управления выключателя 2, входу таймера 7, блоку 9 фиксации отключения и первому входу логического блока 10. Выход таймера 7 подключен ко второму входу блока 10. Датчик 8 срабатывания расположен на приводе выключателя 2. Выход датчика 8 подключен к измерительному входу блока 9. Выход блока 9 подключен к третьему входу блока 10. Выход блока 10 подключен к цепям управления резервирующими выключателями 3 и 4. Первая часть датчика 8 зафиксирована на элементе привода выключателя 2 и содержит метку

положения, перемещение первой части датчика 8 связано с перемещением полюса выключателя. Вторая часть (находится в статическом положении) содержит приемный элемент. Последний реагирует, когда метка положения датчика перемещается.

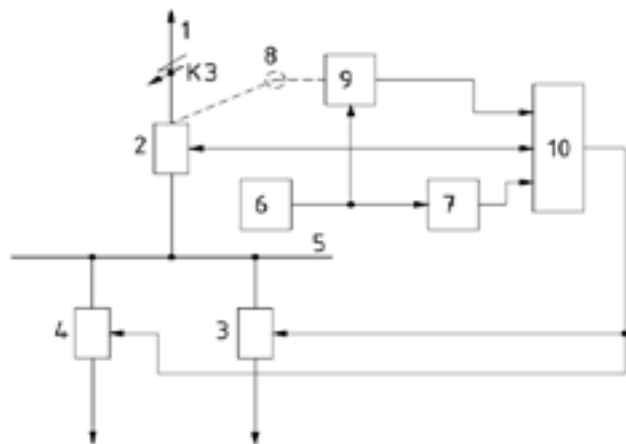


Рисунок 2 – Функциональная схема ускоренного резервирования

Устройство [17] работает следующим образом. При возникновении КЗ на линии 1 и срабатывании ее РЗ, блок 6 управления посылает сигнал в цепи управления выключателем 2, на вход таймера 7, на вход блока 9, а также на вход логического блока 10. Если выключатель 2 отключился, то на вход блока 9 поступает информация от датчика 8 об изменении положения привода (перемещении полюса) выключателя 2. Далее блок 9 посылает сигнал на вход логического блока 10, но так как выключатель 2 отключился, сигнал от таймера 7 на вход логического блока 10 поступать не будет (устройство резервирования работать не будет). Если по какой-либо причине выключатель 2 откажет в отключении (полюс выключателя 2 не переместится), то блок 9 не будет посылать сигнал на вход логического блока 10. По истечении выдержки времени таймера 7 блок 10 посылает сигнал на отключение резервирующих выключателей 3 и 4. Надежность работы датчика (устанавливаемого на приводе выключателя) вызывает вопросы.

Отказ в отключении выключателя при возмущениях, возникающих вследствие КЗ на линиях электропередач или на шинах электрической станции (подстанции), влечет за собой отключение выключателей, примыкающих к

отказавшему, т.е. действие УРОВ, а отказ в срабатывании УРОВ чреват отключением синхронных генераторов из-за действия их резервных защит.

При внешних КЗ выдержка времени резервной защиты выбирается из условия селективности с защитами присоединений, но в некоторых случаях, как в [18], для сохранения устойчивости работы электроэнергетической системы и с целью надежного отключения генератора предлагают увеличение выдержки времени его резервных защит, что увеличивает вероятность больших разрушений.

Выводы

Несмотря на то, что устройства резервирования при отказе выключателя разрабатываются и совершенствуются уже 50 лет, они по-прежнему занимают второе место по отказам в срабатывании среди всех устройств релейной защиты и автоматики. При этом новые схемы УРОВ, разработанные в последнее время, не только не решают эту проблему в полной мере, но и в некоторых случаях усугубляют её. В связи с этим актуальными продолжают оставаться исследования, направленные на разработку новых, более надежных УРОВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 431 с.
- 2 Таубес, И. Р. Устройство резервирования при отказе выключателя в сетях 110-220 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 88 с.
- 3 Федосеев, А. М. Федосеев, М. А. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. для вузов. – Изд. 2-е, перер. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.
- 4 Рубинчик, В. А. Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
- 5 Чернобровов, Н. В., Семенов, В. А. Релейная защита энергетических систем. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
- 6 Киреева, Э. А., Цырук, С. А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М. : издательский центр «Академия» 2010 – 288 с.
- 7 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Правила устройства электроустановок: утв. 20 марта 2015 года, № 230.
- 8 Чернобровов, Н. В. Релейная защита. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М. : Изд-во Энергия, 1971. – 624 с.

9 **Смелянская, Б. Я., Файзуллова, Б. Г.** Устройство для резервирования отказа выключателя / А.с. 1001271 СССР. МПК H02H 3/00, опубл. 28.02.83, Бюл. № 8. – 4 с.

10 **Смирнов, Э. П., Файзуллова, Б. Г.** Устройство резервирования при отказе выключателей для подстанций с двойной системой шин / А.с. 545030 СССР. МПК H02H 3/00, опубл. 30.01.77, Бюл. № 4. – 2 с.

11 **Абраменков, В. Н.** Устройство для резервирования отказа выключателя / А.с. 657500 СССР. МПК H02H 3/00, опубл. 18. 04. 79, Бюл. № 14. – 3 с.

12 **Warrington, A. R., Van, C.** Резервная защита. – В кн. : Релейная защита (СИГРЭ, 1960), М. – Л., Госэнергоиздат 1963, с. 13-33.

13 **Warrington A. R., Van, C.** Protective Relays Their Theory and Practice: V. 2. Chapman and Hall. London, 1966. p. 490.

14 **Клецель, М. Я., Ламонов, И. М., Поляков, В. Е.** УРОВ на диодной сетке // Электрические станции. – 1975. – № 9. с. 60–63.

15 **Конюхова, Е. А., Киреева, Э. А.** Надежность электроснабжения промышленных предприятий. М. : – НТФ «Энергопресс», 2001. – 92 с.

16 **Кузник, Ю. С.** Устройство для резервирования отказа выключателя / Пат. 2007810 РФ МПК H02H 3/05; опубл. 28.02.1992.

17 **Горожанкин, П. А., Наровлянский, В. Г.** Способ ускоренного резервирования при отказе выключателя и устройство для его осуществления / Пат. 2634710 РФ МПК H02H 3/05; опубл. 03.11.2017.

18 **Сивокобыленко, В. Ф., Меженкова, М. А.,** Анализ поведения резервных защит генераторов блочных электростанций при внешних симметричных коротких замыканиях // Электротехника і енергетика. – Донецьк: ДонДТУ. – 2000. – Вип. 21. – С.120–122.

REFERENCES

1 **Schneerson, E. M.** Cifrovaya relejnaya zashchita [Digital relay protection]. – М. : Energoatomizdat, 2007. – 431 p.

2 **Taubes, I. R.** Ustrojstvo rezervirovaniya pri otkaze vyklyuchatelya v setyah 110-220 kV [Redundancy device in case of switch failure in 110-220 kV networks]. – М. : Energoatomizdat, 1998. – 88 p.

3 **Fedoseev, A. M. Fedoseev, M. A.** Relejnaya zashchita elektroenergeticheskikh sistem [Relay protection of electric power systems: textbook for universities]. – 2nd Ed., transl. and additional – М. : Energoatomizdat, 1992. – 528 p.

4 **Rubinchik, V. A.** Rezervirovanie otklyucheniya korotkih zamykanij v elektricheskikh setyah [Redundancy of short circuit disconnection in electrical networks]. – М. : Energoatomizdat, 1985. – 120 p.

5 **Chernobrov, N. V., Semenov, V. A.** Relejnaya zashchita energeticheskikh sistem [Relay protection of energy systems]. – М.: Energoatomizdat, 1998. – 800 p.

6 **Kireeva, E. A., Tsyruk S. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem [Relay protection and automation of electric power systems]. – М. : publishing center «Academy» 2010. – 288 p.

7 Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan. Pravila ustrojstva elektroustanovok [Rules for the installation of electrical installations]: approved on March 20, 2015, No. 230.

8 **Chernobrov, N. V.** Relejnaya zashchita [Relay protection]. – Ed. 4th, transl. and an additional one. – М. : Energia Publishing House, 1971. – 624 p.

9 **Smelyanskaya, B. Ya., Fayzullova, B. G.** Ustrojstvo dlya rezervirovaniya otkaza vyklyuchatelya [A device for reserving a switch failure] / C.c. 1001271 USSR. IPC N02N 3/00, publ. 28.02.83, Bul. No. 8. – 4 p.

10 **Smirnov, E. P., Fayzullova, B. G.** Ustrojstvo rezervirovaniya pri otkaze vyklyuchatelej dlya podstancij s dvojnnoj sistemoj shin [Redundancy device in case of failure of switches for substations with a double bus system] / C.c. 545030 USSR. МПК N02N 3/00, publ. 30.01.77, Byul. No. 4. – 2 p.

11 **Abramenokov, V. N.** Ustrojstvo dlya rezervirovaniya otkaza vyklyuchatelya [Device for redundancy of switch failure] / C.c. 657500 USSR. IPC N02N 3/00, publ. 18.04.79, Bul. No. 14. – 3 p.

12 **Warrington, A. R., Van, C.** Rezervnaya zashchita [Backup protection]. – In the book: Relay protection (SIGRE, 1960), М.–Л., Gosenergoizdat, 1963–P. 13–33.

13 **Warrington, A. R., Van, C.** Protective Relays Their Theory and Practice: V. 2. Chapman and Hall. – London, 1966. – P. 490.

14 **Kletsel, M. Ya., Lamonov, I. M., Polyakov, V. E.** UROV na diodnoj setke [Redundancy devices in case of failure of the switch on a diode grid] // Electric stations. - 1975. – No.9. P.60–63.

15 **Konyukhova, E. A., Kireeva, E. A.** Nadezhnost' elektrosnabzheniya promyshlennyh predpriyatij [Reliability of power supply of industrial enterprises]. М. :NTF «Energoress», 2001. – 92 p.

16 **Kuznik, Yu. S.** Ustrojstvo dlya rezervirovaniya otkaza vyklyuchatelya [A device for reserving a switch failure] / Пат. 2007810 RF IPC N02N 3/05; publ. 28.02.1992.

17 **Gorozhankin, P. A., Narovlyansky, V. G.** Sposob uskorenno go rezervirovaniya pri otkaze vyklyuchatelya i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [A method of accelerated redundancy in case of a switch failure and a device for its implementation] / Пат. 2634710 RF IPC N02N 3/05; publ. 03.11.2017.

18 **Sivokobylenko, V. F., Mezhenkova, M. A.** Analiz povedeniya rezervnyh zashchit generatorov blochnyh elektrostancij pri vneshnih simmetrichnyh korotkih

zamykaniyah [Analysis of the behavior of backup protections of generators of block power plants with external symmetrical short circuits] // Elektrotehnika i energetika. – Donetsk : DonDTU. – 2000. – Vip. 21. – pp.120–122.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*Д. Т. Амренова¹, А. С. Барукин², А. Г. Калтаев³

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

АЖЫРАТҚЫШ ІСТЕН ШЫҚҚАН КЕЗДЕ РЕЗЕРВТЕУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН ТАЛДАУ

Соңғы 50 жыл бойы ажыратқыштардың істен шығуын резервтеу құрылғылары кеңінен қолданылғаны айтылған. Бұл құрылғылар барлық релейлік қорғаныс және автоматика құрылғыларының ішінде жұмыс сенімділігінің ең төменгі көрсеткіштерінің біріне ие екендігі айтылған. Ажыратқыш істен шыққан кезде артық құрылғылардың дұрыс емес әрекеттерінің пайыздық көрсеткіштері, сондай-ақ олардың пайда болуының негізгі себептері келтірілген. Үш ажыратқыштың істен шығуын резервтеу құрылғысы талданады. Олардың біріншісі белгілілерден қысқа тұйықталуды жеделдетіп ажыратумен және тоқты азайту релесін қолдану арқылы құрылғының жұмысын блоктаумен, екіншісі автоматты ажыратқыш жетек элементіне бекітілген өшіру датчигін қолданумен, үшіншісі уақыт кідірісін арттырумен ерекшеленеді. Генератордың резервтік қорғанысы. Бұл құрылғылардың құрылымдық схемалары және олардың электр қондырғыларындағы қысқа тұйықталу кезіндегі жұмысы қарастырылады. Бірінші құрылғыда элементтерді дәйекті түрде қосу сәтсіздіктің сенімділігін арттырып қана қоймай, сонымен бірге жұмыс істеу сенімділігін нашарлататыны атап өтілген. Екінші құрылғыда кейбір сұрақтар кіріс сенсорының механикалық күшімен көтеріледі. Үшінші құрылғыны іске асыруда қолданылатын генератордың резервтік қорғаныстарының кешігу уақытының ұлғаюы үлкен бұзылу ықтималдығын арттырады.

Кілтті сөздер: ажыратқыш, істен шығу, жұмыс істеу сенімділігі, жұмыс істемеу сенімділігі, іске қосу элементі.

*D. T. Amrenova¹, A. S. Barukin², A. G. Kaltaev³

^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.09.22.

ANALYSIS OF REDUNDANCY DEVICES IN THE FAILURE OF THE BREAKER

It is mentioned that breaker failure redundancy devices have been widely used for the past 50 years. It is stated that these devices have one of the lowest indicators of operation reliability among all relay protection and automation devices. The percentage indicators of incorrect actions of redundant devices in the event of a circuit breaker failure, as well as the main reasons for their occurrence, are given. Three breaker failure redundancy devices are analyzed. The first of them differs from the known ones by accelerated short circuit disconnection and blocking of the device operation by using a current reduction relay, the second by using a trip sensor attached to the circuit breaker drive element, and the third by increasing the time delay of the generator backup protections. The block diagrams of these devices and their operation in the event of short circuits in electrical installations are considered. It is noted that in the first device, the sequential inclusion of elements not only improves the reliability of failure, but at the same time worsens the reliability of operation. In the second device, some questions are raised by the mechanical strength of the input sensor. The increase in the delay time of the generator backup protections used in the implementation of the third device increases the likelihood of large destruction.

Keywords: breaker, switch, failure, reliability of operation, reliability of non-operation, starting element.

<https://doi.org/10.48081/LDKU6437>

***А. М. Байкадамова**

Республика Казахстан, г. Алматы

ОЦЕНКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ЖАРКЕНТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

В данной статье представлены расчеты по оценке энергетического потенциала и применению геотермальных подземных вод. Геотермальные энергоресурсы, так же, как и остальные виды возобновляемых источников энергии, имеют возможность удовлетворить практически любого потребителя по потенциалу и качеству энергии.

Технико-экономический анализ показывает, что при современной технологии изъятия внутриземного тепла экономически обоснованными являются системы с глубиной буровой скважины до 3 км. Тепловой потенциал 90 % геотермальных вод на данной глубине не превышает 100 °С. При этом преобладающим является геотермальное теплоснабжение, в результате применения которого замена органического топлива больше, чем при производстве электроэнергии [1].

В настоящее время в Казахстане есть возможность без больших капитальных затрат начать эксплуатацию уже существующих геотермальных скважин, извлекающих пресную и практически горячую воду. В зависимости от минерализации и химического состава к возможным видам практического использования термальных вод относятся геотермальные электростанции с бинарным циклом, с последующим использованием для отопления, горячего водоснабжения, теплично-парникового хозяйства, бальнеологии, плавательные бассейны, обогрев почвы, обогрев животноводческих ферм, прудовое хозяйство.

Ключевые слова: геотермальная вода, скважина, запасы тепла, теплоэнергетический потенциал, геотермальная энергия.

Введение

На сегодняшний момент мировая доля электроэнергии, получаемой с помощью геотермальных ресурсов, составляет около 0,5 %.

Источником геотермальной энергии является природное тепло Земли. Геотермальные ресурсы разделяются на низкотемпературные (менее 90–100 °С), среднетемпературные (от 90–100 °С до 150 °С) и высокотемпературные (выше 150 °С). Наиболее высокотемпературные ресурсы обычно используются для производства электроэнергии. Низко- и среднетемпературные ресурсы могут быть использованы непосредственно или при помощи тепловых насосов.

Эффективность термальных вод увеличивается при их комплексном использовании. Вместе с тем в различных технологических процессах возможно получить наиболее полную реализацию теплового потенциала воды, кроме всего прочего и остаточную, а также извлечь ценные компоненты (йод, бром, литий, цезий и многие другие) для их промышленного использования.

Сегодня, геотермальные энергоресурсы позволяют удовлетворить любого потребителя по потенциалу и качеству энергии. Однако, с экономической стороны, только в районе производства электроэнергии и обеспечения потребностей в теплоте среднего и низкого потенциалов они могут конкурировать с традиционными источниками энергии. Область применения и эффективность использования геотермальных энергоресурсов того или иного месторождения зависят от их энергетического потенциала, общего запаса и дебита буровых скважин, химического состава, минерализации и агрессивности вод, наличия потребителя и его отдаленности, температурного и гидравлического режимов буровых скважин, глубины залегания водоносных пластов и их характеристики, а также от ряда других факторов.

Поэтому эксплуатация геотермальных источников должна базироваться на предшествующем геологическом исследовании, во избежание значительного финансового риска при условии дальнейших капитальных затрат. Для того, чтобы определить, имеет ли определенная местность потенциал снабжения геотермальной теплотой для промышленных и бытовых потребностей, необходим предварительный поиск, который является рискованным, но необходимым. Эта особенность – одно из главных отличий геотермальной энергии от других возобновляемых источников энергии.

В наше время геотермальная энергия используется в двух основных направлениях – теплоснабжение и получение электрической энергии. Разработан ряд технологий и эффективное оборудование для получения как в отдельности тепловой и электрической энергии, так и для их комбинированного производства.

Материалы и методы

Целью данного предварительного обоснования является изучение возможности освоения теплоэнергетического потенциала скважины Жаркентского геотермального месторождения.

Илийский артезианский бассейн представляет хорошо выраженное тектоническое понижение, вытянутое в широтном направлении до 460 км. Он расположен между горными хребтами Северного Тянь-Шаня – Заилийским Алатау и Кетменем на юге и Джунгарским Алатау на севере. Бассейн закрывается на западе хр. Ендыктас и Чу-Илийским горами, а на востоке в пределах КНР, сходящимся Талкинским и Чапчальским хребтами.

В пределах Илийского бассейна по особенностям его глубинного строения четко выделяются два артезианских бассейна второго порядка: Алматинский и Жаркентский.

На территории Жаркентского геотермального месторождения расположены несколько скважин, представляющие интерес для использования в качестве источника энергии Объектом исследования является гидрогеологическая скважина ЗТ.

Исходя из имеющихся фактических материалов по геологии, гидрогеологии и геотермии ниже приводится оценка региональных и эксплуатационных запасов термальных вод.

Таблица 1 – Краткие сведения по термальной скважине

Показатели	Скважина ЗТ
Местоположение скважин	Алматинская область, Панфиловский район, в 33 км южнее г.Жаркент
Глубина скважин, м	3281
Термоводоносный комплекс, интервал опробования, м	Верхнемеловые грубо- и среднезернистые песчаники, 2270-2350
Избыточное давление на устье скважины, м	220
Расход на самоизливе (дм ³ /с) при избыточном давлении, м	33,2 220
Температура воды на самоизливе, °С	66-72
Химический состав термальной воды	Минерализация воды 0,47 г/л Состав: гидрокарбонатно-сульфатный натриевый (% мг-экв: HCO ₃ -50, SO ₄ -32, Cl-14; Na+K 89, Ca-7, Mg-4)
Наличие охлаждающей воды для производства электроэнергии	в 50 м от скв. ЗТ имеется действующая неглубокая скважина (300 – 400м), температура воды 12°С

Климатические показатели, °С:	
максимальная температура воздуха	+41,5 (июль)
средняя температура воздуха	+9 (среднегод.)
минимальная температура воздуха	- 42 (январь)

Ресурсы тепла геотермальных вод

Под естественными запасами тепла следует понимать тепло, заключенное в подземных водах, под эксплуатационными - количество тепла, которое может быть получено рациональным в технико-экономическом отношении каптажным сооружением при заданном режиме в течение всего расчетного срока эксплуатации [2].

Естественные запасы тепла термальных вод определяются исходя из естественных запасов и средней температуры.

Таблица 2 – Расчетные параметры и естественные запасы тепла термальных вод Жаркентского бассейна

Возраст водовмещающих пород	Естественные запасы термальных вод, млрд. м ³	Расчетная температура, °С	Естественные запасы тепла, 10 ¹² ккал
Неогеновый	86,9	15	1 303,5
Палеогеновый	26,7	35	934,5
Меловой	54,1	50	2705
Юрский	37,7	60	2 262
Триасовый	42	75	3 150
			10 355

Таблица 3 – Региональные эксплуатационные запасы тепла

Возраст водовмещающих пород	Региональные эксплуатационные запасы, м ³ /сутки	Расчетная температура, °С	Эксплуатационные запасы тепла, 10 ³ ккал/сутки
Неогеновый	368 452,3	15	5 526 784,5
Палеогеновый	210 836,6	35	7 379 281
Меловой	108 164,5	50	5 408 225
Юрский	63 344,6	60	3 800 676
Триасовый	68 049,1	75	5 103 682,5
			27 218 649

Носителем геотермальной энергии являются подземные воды, которые выгодно отличаются от всех видов энергетического сырья своей широкой распространенностью, постоянной возобновляемостью, большими запасами, доступностью получения ее современными техническими средствами и возможностью комплексного их использования.

Для выработки электроэнергии используется пароводяная смесь с температурой более 100 °С.

При помощи теплонасосов с небольшими затратами электроэнергии вода с температурой 30 – 40 °С может быть нагрета до высокой температуры, пригодной для теплоснабжения, и наоборот, можно использовать воду с температурой 70–90 °С для получения искусственного холода в абсорбционных холодильных машинах [3].

Теплоэнергетическая производительность геотермальных скважин 3Т определена по формуле:

$$G = 365 Q \cdot c \cdot \gamma g (T_u - T_k) \cdot 10^{-6}$$

где G – теплоэнергетическая производительность, Гкал/год;
 c – удельная теплоемкость воды, c = 1000 ккал/т·°С;
 γg- плотность воды при работе скважины, т/м3;

T_u и T_k – соответственно температуры воды на устье и конечная после использования, T_u= 96°С (скв. 1-РТ) и 67,3°С (скв. 3Т), T_k=35 °С.

Таким образом:

$$G = 365 \cdot 3 \cdot 136 \cdot 1000 \cdot 0,9639 \cdot (67,3 - 35) \cdot 10^{-6} = 35,64 \cdot 10^3 \text{ Гкал/год.}$$

Гидродинамический потенциал верхнемелового водоносного горизонта (упругие запасы) Жаркентского месторождения, определяемые как:

$$V_{упр} = \mu^* \delta S F ;$$

где V_{упр} – упругие запасы, м3;

μ* – упругая водоотдача горизонта, доли единицы, определяется как:

$$\mu^* = km/a = 1,04 \cdot 10^{-4}$$

δS – Допустимая сработка избыточного напора, м для этой площади принята равной 235 м (при условии фонтанной эксплуатации);

F – Территория, входящая в сферу влияния эксплуатации скважины, м.

Площадь распространения верхнемеловых отложений составляет 4240 км2. Упругие запасы при этих условиях составят:

$$V_{упр} = 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 4240 \cdot 10^6 = 103,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

При сроке эксплуатации 10000 суток, прогнозные запасы термоминеральных вод за счет сработки упругих составят:

$$Q = V_{упр} / t_s = 103,6 \cdot 10^6 : 10^4 = 10360 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Следовательно, эксплуатационные запасы термоминеральных вод в количестве 6592м3/сут обеспечены упругими запасами верхнемелового водоносного горизонта и составляют около 60 % от прогнозных.

Производство тепловой энергии от скважины 3Т

Скважина 3Т имеет дебит: 40 кг/с. Температура в скважине – 66 °С.

Температура воды слишком низкая для обеспечения работы обычной геотермальной электростанции. Единственным практически реализуемым вариантом для производства электроэнергии от геотермального потока с температурой 70–96 °С является бинарная технология [4].

На рисунке 1, изображена схема для максимального обеспечения теплом районной тепловой сети от скважины 3Т. В систему требуется добавить догревающий котел, так как температура геотермальной воды составляет 70 °С.

Мощность, которая может быть извлечена из геотермального источника, во многом зависит от применяемой системы отопления. Например, если в помещении установлены системы типа 90/70 °С, утилизация геотермальной энергии будет намного меньше. С другой стороны, использование геотермального ресурса для другого применения (не отопление) приведет к увеличению отбора энергии.

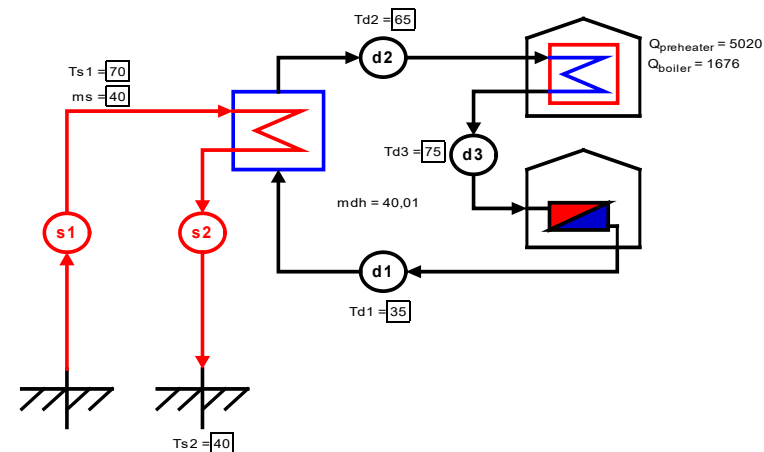


Рисунок 1 – Технологическая схема производства тепловой энергии от скважины 3Т

Результаты и обсуждение

Соотношение между геотермальной и пиковой нагрузками в дальнейшем может сложиться в пользу использования геотермальной энергии в системах

напольного отопления помещений в новых зданиях в качестве конечного потребителя распределительной системы. В системах напольного отопления может использоваться горячая вода при температуре от 50–60 °С до 35 °С. Рекомендуются использовать этот тип отопительных систем в новых зданиях. В старых помещениях, это может оказаться неоправданным, поскольку ведет к значительным затратам на переоборудование.

Если горячая вода для бытовых нужд подается системой, то согласно оценкам потребуется 10 % от общего массового расхода.

Тепло сбрасываемое с районных систем теплоснабжения может использоваться для систем снеготаяния на тротуарах и парковках. Системы снеготаяния обычно представляют собой соотношение подачи/возврата 35/15, что соответствует тепловой нагрузке 84 кДж/кг

Овощи, фрукты, пряности и цветы, являются наиболее распространенными видами, которые выращиваются в теплицах, отапливаемых с использованием геотермального источника энергии. Оптимальная температура выращивания зависит от вида растений, например, помидоры выращивают при температуре 20–21 °С, розы при температуре 20–25 °С. Проектная нагрузка теплиц рассчитывается исходя из комплекса требований к температуре воздуха, естественному охлаждению, освещению и кондиционированию воздуха. Это необходимо исследовать дополнительно с учетом детальной информации касающейся погодных условий, количества световых часов, а также выращиваемых видов растений [5].

Использование геотермальной энергии в водолечебницах и других банных учреждениях, является очень эффективным. Вода в бассейнах часто имеет температуру 26–29 °С, а в ваннах 38–42 °С. Тепловая нагрузка для использования геотермальной энергии, таким образом, зависит от многих факторов, таких как кондуктивный и конвективный теплообмен, и теплопередача между бассейном и окружающей средой. Температура наружного воздуха, скорость испарения, осадки, тип системы (замкнутая или другая) также играют важную роль в данной конструкции [6].

Скважина 3Т не соответствует требованиям для производства электроэнергии от геотермальной электростанции, температура воды является очень низкой. Но благодаря высокому напору, здесь возможно получение электроэнергии от микро ГЭС.

Максимальное производство тепловой энергии без электричества для нужд районного теплоснабжения или другого применения составляет для 3Т – 5 МВт (тепловой энергии) соответственно.

Производство тепловой энергии, является очень выгодным вариантом при условии его использования в качестве элемента базовой нагрузки предварительного нагревания для системы районного теплоснабжения.

Использование и применение нетрадиционных экологически чистых источников энергии (термальные подземные воды) для этого региона, является важнейшим фактором рационального использования и экономии, традиционно не возобновляемых энергетических ресурсов (уголь, нефть, газ и др.).

Основной проблемой при использовании термальных вод для теплоснабжения населенных пунктов является борьба с коррозией и солеотложениями. Необходимость решения этой проблемы связана с возможным применением дорогостоящих коррозионностойких материалов или таких способов обработки геотермальных вод, которые улучшили бы их качество [7].

Практика использования термальных вод показывает, что повышенная коррозионная активность обусловлена наличием как растворенных, так и спонтанных газов – углекислого, сероводорода, а также кислорода, которые попадают в геоциркуляционную систему. Как показали проведенные гидрогеохимические исследования сероводород и кислород в этих водах в основном не обнаружены или присутствуют в незначительных количествах [8]. Все исследованные пробы указывают, что по степени агрессивности по отношению к металлам, термальные воды относятся к группе слабоагрессивных.

При выполнении пилотного проекта по производству электроэнергии на базе существующих геотермальных скважин Жаркентского месторождения геотермальных вод был создан и установлен модуль экспериментальной скважинной электростанции (МиниГЭС) с основными силовыми агрегатами на скважине 3Т Жаркентского месторождения термальных вод [7,9].

Технический и методический анализ проведения первых тестовых испытаний экспериментальной мини ГЭС показал принципиальные недостатки разработок: устьевая задвижка скважины находилась в нерабочем состоянии, поэтому давление воды, поступающей на турбину, не превышало 5–6 атм. Отводная труба, для сброса воды в пруд рыборазведения, имела обратный уклон, что приводило к подпорным процессам в системе водосброса агрегатов мини ГЭС. Подача напора жидкости на верхние лопасти турбины и сброс воды через поддон агрегата уменьшали момент вращения турбины и усиливали подпорные процессы. Инерция электрической регулирующей задвижки имела значение, порядка 5–10 минут, что приводило к сбоям в работе станции. Турбулентность скважинного потока и вибрация устьевой запорной арматуры вызывают вибрационные процессы в системе подводных трубопроводов и агрегатов мини ГЭС, что приводит к аварийному состоянию блоки соединения системы, места жестких креплений агрегатов станции, сварочные швы, контрольно-измерительные приборы.

Выводы

По результатам работы в дальнейшем необходимо проведение следующих работ:

- собрать данные о почасовых метеорологических наблюдениях, желательно для периода нескольких лет для того, чтобы иметь возможность оценки параметров устройства пиковой нагрузки для системы районного теплоснабжения;

- провести тестовые испытания скважин для подтверждения их характеристик: дебитов, давления, температуры;

- провести более подробный химический анализ воды для оценки расчётного давления теплообменников для предотвращения выделения диоксида углерода из геотермальной жидкости.

В настоящее время в Казахстане есть возможность без больших капитальных затрат начать эксплуатацию существующих геотермальных скважин, изливающих пресную, практически горячую воду В зависимости от минерализации и химического состава к возможным видам практического использования термальных вод относятся геотермальные электростанции с бинарным циклом, с последующим использованием для отопления, горячего водоснабжения, теплично-парникового хозяйства, бальнеологии, плавательные бассейны, обогрев почвы, обогрев животноводческих ферм, прудовое хозяйство [10]. При переходе республики на рельсы «зеленой экономики» практическая реализация проектов освоения гидрогеотермальных ресурсов на перспективных площадях Южного Казахстана представляет возможность обоснования на конкретных примерах экономической, социальной и экологической эффективности и преимущества комплексного использования термальных вод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Бондаренко, Н. М., Жеваго, В. С., Кан, М. С.** Термоаномалии подземных вод Казахстана, – Алма-Ата : Наука, 1981. – 84 с.

2 **Тихонов, А. Н., Швецов, П. Ф., Дворов, И. М.,** Изучение и использование геотермальных ресурсов в СССР, Алма-Ата : Наука, 1990. – С. 3-20.

3 **Бутузов, В. А., Томаров, Г. В., Шетов, В. Х.** Геотермальная система теплоснабжения с использованием солнечной энергии и тепловых насосов, М. : Наука, 1989. – 123 с.

4 Создание комплекса производства тепловой и электроэнергии на основе геотермальной энергии Жаркентского месторождения геотермальных

вод в Алматинской области – Алматы: Институт гидрогеологии и геоэкологии, 2015. – 57 с.

5 Анализ гидрогеологического и геофизического материала по Восточно-Илийскому геотермальному бассейну, геолого-экономическая оценка месторождения термальных вод: отчет по договору с Лобненской геологоразведочной экспедицией ПО «Союзбургаз», Алма-Ата : РГФ, 1989. – 156 с.

6 Технично-экономическое обоснование строительства теплоисточников на базе геотермальных вод Талды-Курганской и Чимкентской областей Казахской ССР, Новосибирск: 1977. – 193 с.

7 Создание комплекса производства тепловой и электроэнергии на основе геотермальной энергии Жаркентского месторождения геотермальных вод в Алматинской области. – Алматы, 2013. – 61 с.

8 **Розенфельд, Л. М.** Термодинамические циклы динамического отопления с использованием разности температур холодного времени года, АН СССР, 1952. – С. 45–56.

9 **Сыдыков, Ж., Сатпаев, А. Г., Мухамеджанов, М. А., Плеханов, П. А.** Подземные термальные воды – мощный возобновляемый источник энергии // Геология и охрана недр, 2009. – С. 85-91

10 **Плеханов, П. А., Сатпаев, А. Г., Антипов, С. М.** Общая оценка энергетического потенциала геотермальных вод в Казахстане // Вестник КазНАЕН. – 2009. – № 1. – С. 41 – 44.

REFERENCES

1 **Bondarenko, N. M., Zhevago, V. S., Kan, M. S.** Termoanomalii podzemnyh vod Kazahstana [Thermal anomalies of underground waters of Kazakhstan and underground waters of Kazakhstan] – Alma-Ata : Nauka, 1981. – 84 p.

2 **Tihonov, A. N., SHvecov, P. F., Dvorov, I. M.** Izuchenie i ispol'zovanie geotermal'nyh resursov v SSSR [Study and use of geothermal resources in the USSR] Alma-Ata: Nauka, 1990. – p.3–20

3 **Butuzov, V. A., Tomarov, G. V., Shetov, V. H.** Geotermal'naya sistema teplosnabzheniya s ispol'zovaniem solnechnoj energii i teplovyh nasosov [Geothermal heat supply system using solar energy and heat pumps] М. : Nauka, 1989. – 123 p.

4 Sozдание kompleksa proizvodstva teplovoj i elektroenergii na osnove geotermal'noj energii Zharkentskogo mestorozhdeniya geotermal'nyh vod v Almatinskoy oblasti [Creation of a complex for the production of heat and electricity based on geothermal energy of the Zharkent geothermal water field in the Almaty region] – Almaty: Institut gidrogeologii i geoekologii, 2015. – 57 p.

5 Analiz gidrogeologicheskogo i geofizicheskogo materiala po Vostochno-Ilijskomu geotermal'nomu bassejnu, geologo-ekonomicheskaya ocenka mestorozhdeniya termal'nyh vod: otchet po dogovoru s Lobnenskoj geologorazvedochnoj ekspedicij PO «Soyuzburgaz» [Analysis of hydrogeological and geophysical material for the East Ili Geothermal basin, geological and economic assessment of the thermal water deposit: report on the contract with the Lobnenskaya geological exploration expedition for Soyuzburgaz] – Alma-Ata: RGF, 1989. – 156 p.

6 Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie stroitel'stva teploistochnikov na baze geotermal'nyh vod Tal'dy-Kurganskoj i Chimkentskoj oblastej Kazahskoj SSR [Feasibility study of the construction of heat sources based on geothermal waters of Tal'da-Kurgan and Shymkent regions of the Kazakh SSR], Novosibirsk: 1977. – 193s.

7 Sozdanie kompleksa proizvodstva teplovoj i elektroenergii na osnove geotermal'noj energii Zharkentskogo mestorozhdeniya geotermal'nyh vod v Almatinskoj oblasti [Creation of a complex for the production of heat and electricity based on geothermal energy of the Zharkent deposit of geothermal waters in Almaty region]. Almaty, 2013. – 61 p.

8 **Rozenfel'd, L. M.** Termodinamicheskie cikly dinamicheskogo otopleniya s ispol'zovaniem raznosti temperatur holodnogo vremeni goda [Thermodynamic cycles of dynamic heating using the temperature difference of the cold season], AN SSSR, 1952. – S.45–56

9 **Sydykov, Zh., Satpaev, A. G., Muhamedzhanov, M. A., Plekhanov, P. A.** Podzemnye termal'nye vody – moshchnyj vozobnovlyаемyj istochnik energii [Underground thermal waters are a powerful renewable energy source] // Geologiya i ohrana neдр, 2009. – P. 85–91

10 **Plekhanov, P. A., Satpaev, A. G., Antipov, S. M.** Obschaya ocenka energeticheskogo potenciala geotermal'nyh vod v Kazahstane [General assessment of the energy potential of geothermal waters in Kazakhstan] // Vestnik KazNAEN. – 2009. – № 1. – P.41–44

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

**Байкадамова А. М.*

Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ЖАРКЕНТ ГЕОТЕРМАЛДЫҚ СУ КЕН ОРНЫНЫҢ ПЕРСПЕКТИВТІ УЧАСКІЛЕРІНІҢ ГЕОТЕРМАЛДЫҚ СУЛАРЫНЫҢ ЖЫЛУ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ

Бұл мақалада энергетикалық әлеуетті бағалау және геотермалдық жер асты суларын пайдалану бойынша есептеулер ұсынылған. Геотермалдық энергия ресурстары, жаңартылатын энергия көздерінің басқа түрлері сияқты, кез келген тұтынушыны энергияның әлеуеті мен сапасы бойынша қанағаттандыруға мүмкіндігі бар.

Техникалық-экономикалық талдау көрсеткендей, жер ішіндегі жылууды алудың заманауи технологиясында бұрғылау ұңғымасының тереңдігі 3 км-ге дейінгі жүйелер экономикалық тұрғыдан негізделген. осы тереңдіктегі геотермалдық сулардың 90%-ының жылу потенциалы 100 °С-тан аспайды, сонымен бірге геотермалдық жылумен жабдықтау басым болып табылады, нәтижесінде органикалық отынды ауыстыру электр энергиясын өндіруге қарағанда көп [1].

Қазіргі уақытта Қазақстанда тұщы және іс жүзінде ыстық су құятын қолданыстағы геотермалдық Ұңғымаларды пайдалануды үлкен күрделі шығынсыз бастауға мүмкіндік бар. Минералдануға және химиялық құрамына байланысты жылу суларын практикалық пайдаланудың ықтимал түрлеріне кейіннен жылыту, ыстық сумен жабдықтау, жылыжай-жылыжай шаруашылығы, бальнеология үшін пайдаланылатын екілік циклді геотермалдық электр станциялары, жүзу бассейндері, топырақты жылыту, мал шаруашылығы фермаларын жылыту, тоған шаруашылығы жатады.

Кілтті сөздер: геотермалдық су, ұңғыма, жылу қорлары, жылу-энергетикалық әлеует, геотермалдық энергия.

**A. M. Baikadamova*

Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Material received on 15.09.22.

ASSESSMENT OF THE THERMAL ENERGY POTENTIAL OF GEOTHERMAL WATERS OF PROMISING AREAS OF THE ZHARKENT GEOTHERMAL WATER FIELD

This article presents calculations on the assessment of the energy potential and the use of geothermal groundwater. Geothermal energy resources, as well as other types of renewable energy sources, have the ability to satisfy almost any consumer in terms of energy potential and quality.

The technical and economic analysis shows that with modern technology of extraction of intra-earth heat, systems with a drilling well depth of up to 3 km are economically justified. The thermal potential of 90 % of geothermal waters at a given depth does not exceed 100 °C. At the same time, geothermal heat supply is predominant, as a result of which the replacement of organic fuel is greater than in the production of electricity [1].

Currently, there is an opportunity in Kazakhstan to start the operation of existing geothermal wells that pour fresh and practically hot water without large capital expenditures. Depending on the mineralization and chemical composition, possible types of practical use of thermal waters include geothermal power plants with a binary cycle, with subsequent use for heating, hot water supply, greenhouse and greenhouse farming, balneology, swimming pools, soil heating, heating livestock farms, pond farming.

Keywords: geothermal water, well, heat reserves, thermal energy potential, geothermal energy.

МРНТИ 45.43.29

<https://doi.org/10.48081/BPYS9636>

***М. М. Дундуков¹, Н. А. Дубинец²,
В. П. Марковский³, Б. Т. Абдрахманов⁴, А. У. Габдулов⁵**
^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСПЛАВОВ

Регулирование и поддержание температурного и электродугового режима работы в рудотермических печах происходит с помощью увеличения или уменьшения напряжения на печи с помощью ступеней печного трансформатора. При дугowych разрядах средней и высокой мощности до 30 % энергии передается нагреваемому металлу плазмогазовыми струями, при этом необходимо учитывать быстро изменяющиеся граничные условия и свойства среды. Использование водоохлаждаемых элементов футеровки стен и свода влияет и на распределение температуры в печи и характер плавления шихты в различные периоды плавки, что приводит при фиксированной мощности к увеличению длительности расплавления на 15–20 % и повышению удельного расхода электрической энергии. Показано, что существующие рудно-термические печи имеют существенные тепловые потери. Определено, что тепловые потери являются следствием перерасхода электрической энергии. Представлено использование зеркального отражателя свода печи для уменьшения тепловых потерь при производстве ферросплавов. Исследованы параметры, отражающих экранов, снижающих тепловые потери рудно-термической печи. Приведены формулы расчета тепловых потерь. Показано, что при использовании теплового экрана уменьшаются тепловые потери и, соответственно, уменьшаются электрические потери.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, тепловые потери печи, электрические режимы печи, теплоотражающий экран, рудно-термические печи.

Введение

Ферросплавные рудно-термические печи, применяющие электрическую энергию в качестве средства для получения тепловой энергии, имеют значительные теплотехнические, технологические, и конструктивные преимущества. Большое распространение получили рудно-термические печи, работающие в режимах термическом, дуговом или одновременно дуговом и термическом, в зависимости от технологических требования для выплавки конкретного вида ферросплавов. Большая мощность и высокая температура электрической дуги позволяет быстро нагревать и плавить металл, температура металла, может быть выше и ниже благодаря нескольким видам регулировки, в зависимости от технологических требований, для получения определенных видов ферросплавов. Для каждого технологического процесса ферросплавной печи, существует оптимальный тепловой и электрический режим, то есть определенное соотношение между основными электрическими характеристиками печи, и температурным режимом. Определение оптимального режима работы каждой печи для конкретного вида ферросплавов, является важнейшей задачей технологической службы производственного персонала.

Существующие рудно-термические печи имеют существенные тепловые потери, снижающие коэффициент полезного действия печи, что ведет к большому расходу электроэнергии. Исследованию по перенаправлению тепловых потоков для снижения тепловых потерь посвящена данная статья.

Материалы и методы

Краткая характеристика работы рудно-термической печи

Производство ферросплавов осуществляется на мощных рудно-термических печах. В зависимости от характера технологических процессов существуют большое число различных видов электрических печей по мощности конструкции, по роду применяемого электрического тока и числа и расположение плавильных электродов [1]. Процесс выплавки ферросплавов сопровождается интенсивным выделением в атмосферу тепла, пыли и газов. Для сокращения потерь и улучшения условий труда в ферросплавных цехах предусмотрено большое количество устройств, защищающих рабочих от воздействия высокой температуры, теплоты излучения, пыли и газов. Тепловые потери при выплавке в электропечи:

- удельное тепловыделение, кДж/м³с – (0,23);
- температура воздуха из колошниковой площадки, 0С – (43–45);
- интенсивность излучения около печи, кДж/ м³с – (7–12,6).

К тепловым потерям относят потери кожухом печи с охлаждением конструкцией водой тепло охлаждающей воды отходящими газами, рассчитанным по объемным температурам, объемам, площадям, относят

полностью на потери активной энергии, которые составляют 38,2 % и 21,2 к мощности печной установки. [2] При типовых электрических режимах на печах активные электрические потери составляют примерно 10 % [3], и не могут оставшиеся потери РКЗ-63 почти втрое превышать потери РКЗ-75. И в тоже время баланс потери тепла через кожух составляли, соответственно, по печам обратную картину – 1,4 и 3,95 МВт.

Тепловые потери при производстве ферросплавов

Тепловые потери печи , составляют потери излучением и конвекцией: поверхности колошника ; от нижнего конца поверхности электродов по высоте посадки П от токовых щек до шихты Рэл.и; боковой поверхности кожуха под слоем твердой шихты ; по высоте жидко-твердой фазы плюс толщина подины ; поверхности днища кожуха .

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{кон}} + P_{\text{верх}} + P_{\text{низ}} + P_{\text{дн}} \quad (1)$$

Баланс рудно-термических печей подтверждается следующими рассуждениями. Результаты выплавки будут продукты: металл и шлак с температурой термодинамического равновесие и газопылевые выбросы с определенной (средней температуры первичного осуществления синтеза СО до) температурой процесса. Снижение их энтальпии или температуры невозможно, так как иначе изменится окислительно-восстановительный процесс, или вообще остановится процесс. В исследованиях Аксуского завода ферросплавов (АЗФ) работы печей РКЗ–63 и РКЗ–25 применялись прямые измерения напряжений и токов в элементах окружающих конструкции и их тепловые нагрузки также относили на потери активной энергии [3]. При измерениях на печи РКЗ–25 электромагнитные потери составляли в кВт: в короткой сети и контактных щек – 2147, кольцах электрододержателей – 1214. экранов токопроводов – 1385, зонте, труботечках, брнах и др. – 2344, кожухом ванны – 1047. И в общей сложности 8227 кВт, или 39 % активной мощности. При этом остался неучтенным еще ряд электромагнитных потерь. Электрические потери активной энергии достигали 3720 кВт, при измеренных только 2147 кВт. Охлаждающая вода короткой сети нагревается в основном за счет скин-эффекта в токопроводе от трансформатора до токовых щек включительно, эти потери находятся вне устройства печи, поэтому не участвуют в наших расчетах потерь. В окружающих короткую сеть и ванну с плавильными электродами конструкциях (зонд, сводовые и зонтовые секции, их подвесам, загрузочные воронки, труботочки, экранный патрубок, газоотвод на газочистку, взрывозащитные клапана и т.п.) как водоохлаждаемых, так и без охлаждения выделяется электромагнитная энергия в результате вихревых токов наводки, перематничивания токов утечки при недостаточной чистоте

изоляция и так далее, также не участвуют в расчете. Частично конструкции нагревается теплоизлучением колошника и теплом печных газов, а также продуктами их сгорания. Даже если вода в конструкциях не нагревалась бы вообще, то экономия энергии на продукт выплавки металла не произошло бы. Энтальпия воды лишь косвенно отражает тепловые потери излучением колошника и электродов, а так же рассеянные в окружающее пространство электромагнитные потоки.

Использование отражающего теплового экрана свода печи

Энтальпия продуктов плавки – не потеря тепла и не предмет экономии энергии, а в противовес мнению [4], что «более 20 % энергии приходится на тепловые потери с металлом, шлаком и охлаждающей водой», необходимые затраты тепловой энергии на эффективный процесс выплавки металла. Применение теплового экрана из нержавеющей стали между сводом печи и печью позволяет сократить тепловые потери на излучение от расплава металла с колошником на свод печи. Что позволяет сократить тепловое излучение на свод печи и бесполезный нагрев его и соответственно воды. Это позволяет уменьшить бесполезные тепловые потери печи и использовать тепловое излучение для восстановительных процессов печи, что повышает коэффициент полезного действия печи на 5 % по сравнению с работой печи без теплового экрана. Физическая и химическая энергия колошников газов составляет 6500 кВт/ч для ФС–75, 8500-11000 кВт/ч для ФС–45. [4] Энергию тепловых потерь можно получить при выполнении материально-диагностического баланса (МДБ) расчета параметров термодинамического равновесия (ТДР) с конкретизацией участия определенных восстановительных реакций по агрегатным зонам и надежной методикой вычислений энтальпийных энергетических затрат на расплав металла. В частности, тепловые потери в разбираемой ситуации на печи № 43 были вычислены следующим образом. По МДБ и ТДР определен энтальпийный удельный расход электроэнергии на 1 т кварцита – 3310 кВт, при переплаве за год на шести печах – 166 тыс т кварцита, на все потребовалась 549464 тыс. кВт часов электроэнергии при мощности печи 21742 кВт, на потери в короткой сети пришлось 21742 – 14096 – 3771 = 3875 кВт или 17,7 % от P_y , которые составляют сумму потерь. Разберемся, какая энергия образует тепловые потери через футеровку. Прежде всего зафиксируем, что шихту можно представить, как набор столбиков элементарных упаковочных объемов с ребром куба L_p , в центре которого кварцит с интегральным диаметром $d_{кв}$ в оболочке из восстановителей с интегральным диаметром [4]. В рассматриваемой технологии, в мм $d_{кв} = 51,74$, $d_r = 14,5$, $L_p = 59,76$ с соотношением объема кварцита к объему восстановителей $CO = 0,85$. Колошник вокруг электрода с радиусом активного слоя шихты $R_{ш}$ как бы набран из столбиков элементарных упаковок, трансформирующихся в профиле продвижения вниз до температуры $T_{ТДР}$ в образовании с основанием L_p^2 высотой $h_{Lp} = 0,0086$ и объемом $3,07 \cdot 10^3 \text{ м}^3$, состоящих из на плавившегося металла и шлака. Высота

i -того из N объемов ($i = 1..N$) от поверхности колошника к подине h_i математически представляется как $h_i = L_p [(H - L_p) / (H + h_{Lp})]$, когда количество упаковок на высоте $P = h$ (вниз от поверхности до изотермы $T_{ТДР}$). Потери тепла излучением колошника и электродов весьма значительны и превосходят потери кожуха почти в 6 раз, и это закономерно. Будет уместным отметить следующее обстоятельство:

- на уровень потерь в электродах $T_{эл.в.}$, посадки, поверхностного эффекта, большое влияние оказывает абсолютная величина тока электрода, достаточно снизить рабочую нагрузку с 88,65 до 75 кА, как потери снизятся до 1140 кВт, или до 71 %, что предопределяет снижение удельного расхода электроэнергии примерно на 200 кВтч;
- температуру колошника можно существенно регулировать фракционным составом восстановителей.

Уменьшение интегрального диаметра кокса от 14,5 до 12 мм повышает его удельное сопротивление и, соответственно, снижает $T_{эл.в.}$ на 129 °С. Применение древесной щепы резко повышает $P_{тепл}$, что снижает выделение энергии слоя и, соответственно, температуру колошника и приводит к уменьшению потерь излучением на 200-400 кВт. Суммарные тепловые потери $P_{тепл} = 3875$ кВт/ч, или 17,8 % от P_y . Для удобства анализа выразим мощность тепловых потерь через тепловой коэффициент полезного действия η . Для это примем общее сопротивление печи как обратный эквивалент токовой нагрузке в виде $(Z_n - z_{кв})Z_n$, где $Z_n = Z_y - z_{кв}$, а эквивалентное сопротивление $z_{кв} = P_{тепл} / 3 / I_3^2 = 0,164$ МОм, т.е. приведем к току электрода. На основании исследований АЗФ имеем обоснованные оптимальными режимами работы печи РКЗ-25 эквивалентные значения коэффициентов тепловой мощности ванны печи $q_{тепл} = 0,762$, и коэффициент токовой нагрузки $Z_n = 0,922$. Таким образом, для печи №43:

электрический η равен $эл.\eta = (0,922 - 0,164) / 0,922 = 0,882$;

- тепловой η равен $теп.\eta = (0,762 - 0,164) / 0,164 = 0,761$;

- эффективность использования энергии на восстановительные процессы равны

$$\begin{aligned} \text{эф.}\eta &= (P_y - P_{эл} - P_{тепл}) / P_y \\ \text{эф.}\eta &= (21742 - 3771 - 3875) / 21742 = 0,648. \end{aligned} \quad (2)$$

На нагрев расходуется электрическая энергия, увеличиваются электрические тепловые потери. Чтобы уменьшить тепловые потери и сократить расход электрической энергии при выплавке ферросплавного производства предлагается применить дополнительно защитный слой свода печи, выполненный из нержавеющей стали. То есть свод печи должен иметь дополнительно один или два защитных слоя с зеркальной поверхностью, наиболее отражающую тепло в ванну печи.

Результаты и обсуждения

В настоящее время свод печи непрерывно охлаждается водой, затем вода охлаждается в градирнях. При отключении охлаждающих насосов через 10 минут печи

отключаются, иначе свод печи расплавится и уйдет в печь. Установка зеркального отражателя перенаправляет выделенное тепло от плавки на свод назад в печь. Следовательно, уменьшаются тепловые потери, а отсюда и потери электроэнергии на выпуск продукции. В зависимости от шероховатости зеркальной поверхности, будет зависеть эффективность отражение инфракрасного, ионизационного, ультрафиолетового излучения, и как следствие уменьшение потерь, поэтому желательно иметь чисто белую зеркальную поверхность отражающего экрана. Отражающий экран в процессе работы нагревается, поэтому должен быть изготовлен из жаропрочной нержавеющей стали, нагрев значительно уменьшается у чистого отражателя, поэтому экран должен быть глянцевым, гладким, на котором хуже задерживается грязь. Для защиты экрана от пыли желательно использовать электростатический способ защиты, в комплексе с обдувом отражающей поверхности охлажденным газом. Обтекающий сжатый газ по поверхности теплового экрана не только сдувает пыль, но и уменьшает прилипание выбрасываемого металла обратно со шлаком к отражателю. Отражатель должен иметь отрицательный потенциал относительно пространства ванны, электродов шихты напряжением несколько кВ и небольшим током до 0,5 А. Благодаря принятию выше перечисленных мер, тепловой экран будет дольше сохранять свои заданные параметры, то есть выполнять функции отражателя тепловой энергии. Если отражатель будет черным он будет менее эффективным и сильно нагреваться и за счет переизлучения отдавать часть тепла своду печи. Нужно провести несколько экспериментов и расчетов, используя многослойный отражатель с обдувом газом. Теоретически возможно вообще отказаться от охлаждения свода печи водой и тепло оставлять в печи и тем самым повысить КПД еще выше, а также повысить надежность и безопасность.

Заключение

Установка зеркального отражателя в несколько раз уменьшает бесполезный перенос тепла на свод печи и далее на нагрев охлаждающей воды. Следовательно, уменьшаются тепловые потери, а отсюда и потери электроэнергии на выпуск продукции. В зависимости от шероховатости зеркальной поверхности, будет зависеть эффективность отражение инфракрасного, ионизационного, ультрафиолетового излучения, и как следствие уменьшение потерь, поэтому желательно иметь чисто белую зеркальную поверхность отражающего экрана. Отражающий экран в процессе работы нагревается, поэтому должен быть изготовлен из жаропрочной нержавеющей стали. Для защиты экрана от налипания пыли на экран желательно использовать электростатический способ защиты

Выводы

Как показали эксперименты и проведенные расчеты, чтобы уменьшить тепловые потери и сократить расход электрической энергии при выплавке ферросплавного производства предлагается применить дополнительно защитный слой свода печи, выполненный из нержавеющей стали. То есть свод печи должен иметь

дополнительно один или два защитных слоя с зеркальной поверхностью, наиболее отражающую теплую энергию в ванну печи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Гасик, М. И.** Теория и технология производства ферросплавов. / М. И. Гасик и др. – М. : Металлургия, 2003. – 784 с.
- 2 **Емлин, Б. И., Гасик, М. И.** Справочник по электротермическим процессам. / М.И. Гасик и др. – М.: Металлургия, 2003. – 288 с.
- 3 **Гаврилов, В. А.** Оптимизация режимов работы ферросплавных печей. / В. А. Гаврилов, И. И. Поляков, О. И. Поляков. – М. : Металлургия, 1996. – 176 с.: ил.; 21 см.; ISBN 5-229-00552-1: Б. ц.
- 4 **Поволоцкий, Д. Я., Роцин, В. Е., Мальков, Н. В.** Электрометаллургия стали и ферросплавов : учебник для вузов. / Д. Я. Поволоцкий, В. Е. Роцин, Н.В. Мальков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1995. – 592 с.
- 5 **Еднерал, Ф. П., Филиппов, А. Ф.** Расчеты по электрометаллургии стали и ферросплавов: учеб. пособие. / Ф. П. Еднерал, А. Ф. Филиппов – М. : Металлургиздат, 1983. – 399 с.
- 6 **Строганов, А. И., Рысс, М. А.** Производство стали и ферросплавов: учебник для учащихся металлургических техникумов. / А.И. Строганов, М.А.Рысс – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1979. – 504 с.
- 7 **Рысс, М. А.** Производство ферросплавов. – М. : Металлургия, 1985. – 344 с.
- 8 **Струнский, Б. М.** Расчеты руднотермических печей. – М.: Металлургия, 1982. – 192 с.
- 9 **Минеев, Г. Г., Минеева, Т. С., Жучков, И. А., Зелинская, Е. В.** Теория металлургических процессов. / Г. Г. Минеев, Т. С. Минеева, И. А. Жучков, Е. В. Зелинская – Иркутск: изд. ИрГТУ, 2010. – 524 с.
- 10 Пат. №22098 Республика Казахстан. Измерение длины электрода и расстояния между электродом и расплавом (способ и устройство) / М. М. Дундуков; Н. П. Головачев; А. В. Суслов; А. Г. Калиакпаров; С. К. Уантаев; Г. А. Муратов; Е. М. Дундуков; зарегистрирован РК 25. 11. 2009 г., опубл. 15. 01. 2010, Бюл. № 1
- 11 Иннов. пат. №30007 Республика Казахстан. Способ определения расстояния от электрода до расплава в реакционной зоне плавильной печи в режиме реального времени и устройство для его осуществления. / М. М. Дундуков; С. Т. Смаилов; зарегистрирован РК 29.05.2014 г., опубл. 15. 06. 2015. Бюл. № 6

REFERENCES

1 **Gasik, M. I.** Teoriya i tekhnologiya proizvodstva ferrosplavov [Theory and technology of production of ferroalloys] / M. I. Gasik i dr. – M. : Metallurgiya, 2003. – 784 p.

2 **Emlin, B. I., Gasik, M. I.** Spravochnik po elektrotermicheskim processam [Handbook of Electrothermal Processes] / M. I. Gasik i dr. – M.: Metallurgiya, 2003. – 288 p.

3 **Gavrilov, V. A.** Optimizaciya rezhimov raboty ferrosplavnyh pechej [Optimization of operating modes of ferroalloy furnaces] / V. A. Gavrilov, I. I. Polyakov, O. I. Polyakov. – M. : Metallurgiya, 1996. – 176 p.: il.; 21 sm.; ISBN 5-229-00552-1: B. c.

4 **Povolockij, D. YA., Roshchin, V. E., Mal'kov, N. V.** Elektrometallurgiya stali i ferrosplavov [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]: uchebnik dlya vuzov / D. YA. Povolockij, V.E. Roshchin, N. V. Mal'kov. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Metallurgiya, 1995. – 592 p.

5 **Edneral, F. P., Filippov, A. F.** Raschety po elektrometallurgii stali i ferrosplavov [Calculations for electrometallurgy of steel and ferroalloys]: ucheb. posobie / F.P. Edneral, A.F. Filippov – M.: Metallurgizdat, 1983. – 399 p.

6 **Stroganov, A. I., Ryss, M. A.** Proizvodstvo stali i ferrosplavov [Steel and ferroalloy production]: uchebnik dlya uchashchihhsya metallurgicheskikh tekhnikumov / A.I. Stroganov, M.A. Ryss – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Metallurgiya, 1979. – 504 p.

7 **Ryss, M. A.** Proizvodstvo ferrosplavov [Production of ferroalloys] – M.: Metallurgiya, 1985. – 344 p.

8 **Strunskii, B. M.** Raschety rudnotermicheskikh pechei [Calculation design for ore-thermal furnaces] – M. : Metallurgiya, 1982. – 192 p.

9 **Mineev, G. G., Mineeva, T. S., Zhuchkov, I. A., Zelinskaya, E. V.** Teoriya metallurgicheskikh protsessov [Theory of metallurgica lprocesses] / G. G. Mineev, T. S. Mineeva, I. A. Zhuchkov, E. V. Zelinskaya – Irkutsk: izd. IrGTU, 2010. – 524 p.

10 Pat. №22098 Respubliki Kazahstan. Izmerenie dliny elektroda i rasstoyaniya mezhdru elektrodom i rasplavom (sposob i ustrojstvo) [Measuring the length of the electrode and the distance between the electrode and the melt (method and device)] / M.M. Dundukov; N. P. Golovachev; A.V. Suslov; A.G. Kaliakparov; S.K. Uantaev; G.A. Muratov; E.M. Dundukov; zaregistrovan RK 25. 11. 2009g., opubl. 15. 01. 2010, Byul. № 1

11 Innov. pat. №30007 Respubliki Kazahstan. Spособ opredeleniya rasstoyaniya ot elektroda do rasplava v reakcionnoj zone plavil'noj pechi v rezhime real'nogo vremeni i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [Method for

determining the distance from the electrode to the melt in the reaction zone of the melting furnace in real time and a device for its implementation] / M.M. Dundukov; S.T. Smailov; zaregistrovan RK 29.05.2014g., opubl. 15. 06. 2015. Byul. № 6

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*М. М. Дундуков¹, Н. А. Дубинец², В. П. Марковский³,

Б. Т. Абдрахманов⁴, А. У. Габдулов⁵

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ФЕРРОҚОРЫТПАЛАРДЫ ӨНДІРУ КЕЗІНДЕ РУДОТЕРМИЯЛЫҚ ПЕШТІ ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ

Кенді-термиялық пештердегі жұмыстың температуралық және электр догалық режимін реттеу және ұстау пеш трансформаторының қадамдары арқылы пештегі кернеуді арттыру немесе азайту арқылы жүзеге асырылады. Орташа және жоғары қуатты догалық разрядтарда энергияның 30 % дейін қыздырылған металға плазмалық газ ағындары арқылы беріледі, бұл ретте тез өзгеретін шекаралық шарттар мен ортаның қасиеттерін ескеру қажет. Сумен салқындатылатын қабырға мен төбені төсеу элементтерін пайдалану пештегі температураның таралуына және балқудың әртүрлі кезеңдеріндегі шихтаның балқу сипатына әсер етеді, бұл бекітілген қуатта балқу уақытының 15–20 % ұлғаюына және ұлғаюына әкеледі. мөңгікті қуат тұтынуында. Қолданыстағы рудотермиялық пештердің айтарлықтай жылу шығыны бар екендігі көрсетілген. Жылу шығыны электр энергиясының артық шығынының салдары болып табылатыны анықталды. Ферроқорытпаларды өндіру кезінде жылу шығынын азайту үшін пеш күмбезінің айналы шағылыстырғышын пайдалану ұсынылған. Рудотермиялық пештің жылу шығынын азайтатын экрандардың параметрлері зерттелді. Жылу шығынын есептеу формулалары келтірілген. Жылу экранын пайдалану кезінде жылу шығыны азаяды және сәйкесінше электр шығыны азаяды.

Кілтті сөздер: жылу сәулеленуін көрсететін экран, жылу шағылыстыратын экран, рудотермиялық пештер.

*M. M. Dundukov¹, N. A. Dubinets², V. P. Markovskiy³,

B. T. Abdrakhmanov⁴, A. U. Gabdulov⁵

^{1,2,3,4,5}Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.09.22.

EFFICIENT USE OF THE ORE-THERMAL FURNACE IN THE PRODUCTION OF FERROSPALS

The regulation and maintenance of the temperature and electric arc mode of operation in ore-thermal furnaces occurs by increasing or decreasing the voltage on the furnace using the steps of the furnace transformer. In arc discharges of medium and high power, up to 30 % of the energy is transferred to the heated metal by plasma gas jets, while it is necessary to take into account rapidly changing boundary conditions and properties of the medium. The use of water-cooled wall and roof lining elements affects the temperature distribution in the furnace and the nature of charge melting in different periods of melting, which leads to an increase in melting time by 15–20 % at a fixed power and an increase in specific power consumption. It is shown that existing ore-thermal furnaces have significant heat losses. It is determined that heat losses are a consequence of overexpenditure of electrical energy. The use of a mirror reflector of the furnace arch to reduce heat losses in the production of ferroalloys is presented. The parameters of reflecting screens that reduce the heat losses of an ore-thermal furnace are investigated. Formulas for calculating heat losses are given. It is shown that when using a heat shield, heat losses decrease and, accordingly, electrical losses decrease.

Keywords: heat shield, heat radiation reflecting screen, ore-thermal furnaces.

МРНТИ 49.03.05

<https://doi.org/10.48081/RUSP7260>

*А. С. Звонцов¹, А. П. Кислов²

^{1,2}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕТЧАТОГО КОДИРОВАНИЯ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

В статье рассмотрены вопросы решетчатого кодирования в сетях связи.

Показано, что при проектировании устройств передачи информации разработчикам приходится решать задачи выбора параметров этих устройств, позволяющих оптимальным образом выполнить техническое задание. При этом необходимо минимизировать ошибки при передаче одного бита информации. Эта возможность допускается за счет применения модуляции в системах связи – изменении одного или нескольких параметров несущего колебания в соответствии с передаваемым сообщением. Обеспечение высокой достоверности передаваемых данных невозможно без учета применения устройств кодирования в составе систем передачи информации.

Приведены примеры нахождения оценки эффективности кодирования с помощью Хеммингового расстояния – важнейшей характеристики помехоустойчивого кода, определяемое как минимальное расстояние в пространстве среди всех возможных расстояний между двумя любыми кодовыми комбинациями.

Показан алгоритм вычисления кодера через построение решетчатого множества сигналов, используемых для передачи кодированного сообщения, разбиение сформированного расширенного множества на подмножества групп кодированных значений.

Получены результаты кодирования для амплитудной и фазовой модуляций гармонического колебания.

Приведенные примеры расчета дают представление о расчетах геометрического множества сигналов в некодированной и кодированной системах.

Ключевые слова: цифровые системы связи, системы передачи информации, амплитудная модуляция, фазовая модуляция, помехоустойчивый код, эффективность решетчатого кодирования, метрика расстояний, Хеммингово расстояние.

Введение

Решетчатое кодирование – это объединение модуляции сигнала с кодированием, как для блочных, так и для сверточных кодов преобразования входных данных кодера, представляющих собой k -размерную последовательность преобразования в более длинную n -размерную последовательность кодового слова, что требует дополнительного расширения полосы пропускания системы.

Однако оказывается возможным объединить модуляцию и кодирование в единый процесс – это позволяет повысить достоверность информации, не расширяя при этом полосу частот сигнала, не жертвуя скоростью передачи данных, не увеличивая затрачиваемую на передачу данных мощность сигнала.

Решетчатое кодирование относится к классу методов кодирования параметров сигнала. При этом используются M – размерные сигналы для фазовой модуляции, амплитудной модуляции или квадратурно-амплитудной модуляции.

Например, сигнал 8-ФМн в кодированной системе со степенью $2/3$ представляет сигнал 4-ФМн в некодированной системе:

$$8^{2/3} = \sqrt[3]{8^2} = 2^2 = 4$$

Сигнал 32-КАМн в кодированной системе со степенью $4/5$ представляет сигнал 16-КАМн в некодированной системе:

$$32^{4/5} = \sqrt[5]{32^4} = 2^4 = 16$$

Материалы и методы

Для построения решетки кодирования множество кодированных сигналов последовательно разбивается на подмножества. Сигналы каждого из подмножеств отображаются на сигнальной плоскости.

Приведем примеры разбиения множества кодированных сигналов на подмножества для случаев 8-ФМн и 4-ФМн.

Метрикой расстояния берется евклидова метрика. Согласно этой метрике расстояние d_0 между двумя сигнальными векторами и определяется как Хеммингово расстояние d_{\min} – модуль вектора разности этих векторов

$$[d_0 = A_1 - A_2] \quad (1)$$

Данная метрика показана на рисунке 1.

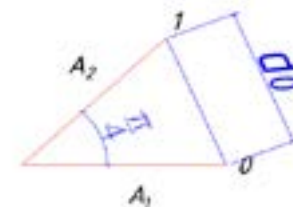


Рисунок 1 – Минимальное расстояние между сигналами при единичной амплитуде

Для набора сигналов 8-ФМн данное расстояние равно:

$$(d_0)^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos \frac{\pi}{4}$$

$$d_0(1,0) = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) = 0,765$$

Геометрическое расстояние показано на рисунке 2.

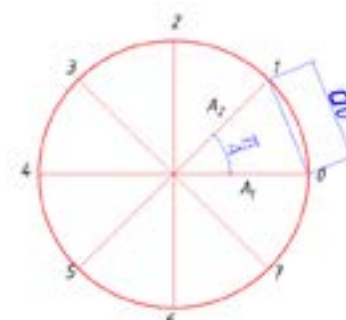


Рисунок 2 – Набор сигналов 8-ФМн

На рисунке 3 показан пример набора сигналов 4-ФМн

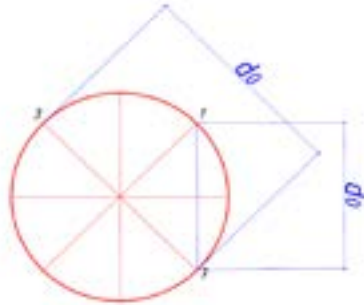


Рисунок 3 – Набор сигналов 4-ФМн

Для набора сигналов 4-ФМн расстояние при единичной амплитуде между сигналами 1 и 7 составляет

$$d_s\{1,7\} = \sqrt{2}$$

Для набора сигналов 4-ФМн расстояние при единичной амплитуде между сигналами 3 и 7 составляет

$$d_s\{3,7\} = 2$$

Анализ принятия решения решений по принципу максимального правдоподобия при единичной средней мощности сигнала в гауссовском шуме с дисперсией показывает, что нижний предел вероятности принятия ошибочного решения записывается как

$$(P_{\text{ош}})_{\text{min}} = F\left(\frac{d_f}{2G}\right) \quad (2)$$

где $F(\cdot)$ – гауссовский интервал ошибок;
 d_f – просвет кодированной системы.

Оценка эффективности кодирования.

Под эффективностью кодирования при заданной вероятности ошибочного решения понимается уменьшение отношения $\frac{E_s}{N_s}$, которое достигается при использовании кодирования

$$G = \left(\frac{E_s}{N_s}\right)_n - \left(\frac{E_s}{N_s}\right)_c \quad (\text{дБ}) \quad (3)$$

где

$$\left(\frac{E_s}{N_s}\right)_n - \text{некодированное значение } \left(\frac{E_s}{N_s}\right);$$

$$\left(\frac{E_s}{N_s}\right)_c - \text{кодированное значение } \left(\frac{E_s}{N_s}\right).$$

E_b – энергия сигнала, затрачиваемая на передачу одного бита информации.

Исследование эффективности решетчатого кодирования показывает, что эффективность кодирования выражается как

$$G = 20 \lg \left(\frac{d_c}{d_n} \right) \quad (4)$$

или

$$G = 10 \lg \left(\frac{d_c}{d_n} \right)^2 \quad (5)$$

где d_c – просвет кодированной системы, ед;

d_n – просвет некодированной системы, ед;

Результаты и обсуждение

Рассмотрим примеры оценки эффективности кодирования при наборе выходных сигналов 8-ФМн с решеткой из 4-х узлов.

Решетка и просвет некодированного сообщения в такой системе показан на рисунке 4.

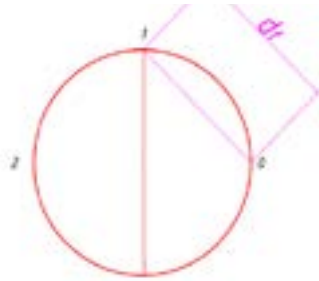


Рисунок 4 – Решетка 8-ФМн из 4-х узлов

Просвет этой решетки равен расстоянию между сигналами 0 и 1 и составляет при единичной амплитуде

$$d_1 = \sqrt{R^2 + R^2} = R\sqrt{2}$$

Рассмотрим путь $G=\{2.1.6\}$ в решетке 8-ФМн

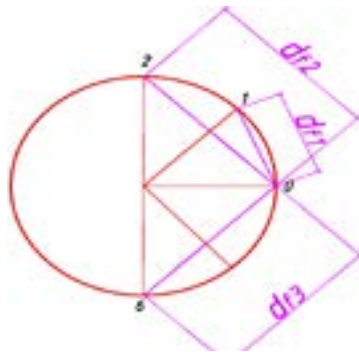


Рисунок 5 – Просвет кодированной системы для $G=\{2.1.6\}$

Найдем d_f - сумму квадратов отдельных расстояний через центр (через 0), т.е. сумму квадратов отдельных расстояний между сигналами 2 и 0, 1 и 0, 6 и 0:

$$d_f = \sqrt{d_{11}^2 + d_{12}^2 + d_{13}^2} \tag{6}$$

где:

$$d_{11} = 2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

$$d_{12} = \sqrt{2}$$

$$d_{13} = \sqrt{2}$$

Подставив данные в формулу (6) получим:

$$d_f = \sqrt{\left(2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)\right)^2 + (\sqrt{2})^2 + (\sqrt{2})^2} = 2,14$$

Найдем d_n – просвет некодированной системы – среднее арифметическое расстояние между d_{n1}, d_{n2} и d_{n3} :

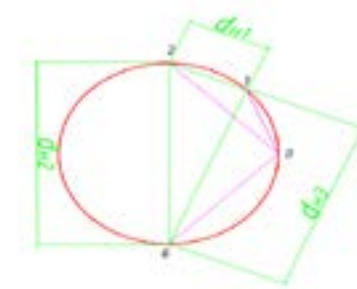


Рисунок 6 – Просвет некодированной системы для $G=\{2.1.6\}$

В общем виде формула

$$d_n = \frac{d_{n1} + d_{n2} + d_{n3}}{3} \tag{7}$$

$$d_{n1} = d_{n2} = 2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

$$d_{n3} = 2$$

Найдем d_n3

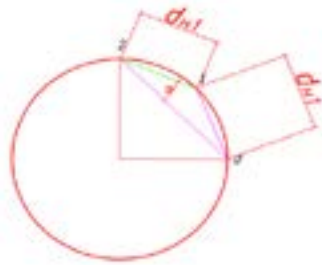


Рисунок 7 – Нахождение отрезка d_n3

Из треугольника 2-1-0:

$$4\sin^2\left(\frac{\pi}{8}\right) = 4\sin^2\left(\frac{\pi}{8}\right) + (\sqrt{2})^2 - 2 \cdot 2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\angle 12,20)$$

Откуда

$$\cos(\angle 12,20) = 0,923$$

Соответственно, $\angle 12,20 = 21^\circ$

Из треугольника 1-2-6:

$$d_{n3}^2 = d_{n2}^2 + d_{n1}^2 - 2 \cdot d_{n1} \cdot d_{n2} \cdot \cos(21^\circ + 45^\circ)$$

Откуда

$$d_{n3} = 1,83$$

Тогда

$$d_n = \frac{1,83 + 2 + 0,765}{3} = 1,531$$

Тогда эффективность кодирования составит

$$G = 10 \lg \left(\frac{2,14}{1,531} \right)^2$$

Откуда $G = 2,91$ дБ

2. Рассмотрим путь $G = \{2.7.6\}$ решетке 8-ФМн



Рисунок 8 – Просвет кодированной системы для $G = \{2.7.6\}$

Найдем d_f - сумму квадратов отдельных расстояний через центр (через 0), т.е. сумму квадратов отдельных расстояний между сигналами 2 и 0, 7 и 0, 6 и 0:

$$d_f = \sqrt{d_{f1}^2 + d_{f2}^2 + d_{f3}^2}$$

$$d_{f1} = d_{f2} = \sqrt{2}$$

$$d_{f3} = 2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

Подставив данные в формулу (6), получим

$$d_n = 2,14$$

Найдем d_n – просвет некодированной системы – среднее арифметическое расстояние между d_{n1}, d_{n2} и d_{n3} :

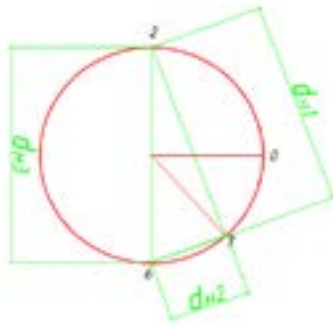


Рисунок 9 – Просвет некодированной системы для $G=\{2,7,6\}$

Согласно формуле (7) необходимо найти отрезки d_{n1}, d_{n2} и d_{n3}

$$d_{n3} = 2$$

$$d_{n2} = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

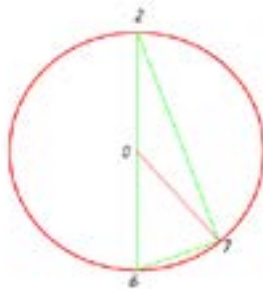


Рисунок 10 – Нахождение отрезка d_{n1}

Из треугольника 2–7–6

$$d_{n1}^2 = d_{n3}^2 + d_{n2}^2 - 2 \cdot d_{n3} \cdot d_{n2} \cdot \cos(\angle 06,76)$$

Откуда

$$d_{n1} = 1,85$$

Согласно формуле (7)

$$d_n = \frac{1,85 + 2 + 0,765}{3} = 1,54$$

Тогда эффективность кодирования составит

$$G = 10 \lg \left(\frac{2,14}{1,54} \right)^2$$

Откуда $G = 2,86$ дБ

Выводы

При использовании в системах связи реального времени кодов коррекции ошибок достоверность передачи улучшается за счет расширения полосы частот. Как для блочных, так и для сверточных кодов преобразование каждого потока входных данных в более длинный поток кодового слова требует дополнительного расширения полосы пропускания. Вследствие этого кодирование не было особенно популярно в узкополосных каналах (таких, как телефонные), в которых расширять полосу частот сигнала было нецелесообразно.

Однако в схемах, где модуляция объединяется с решетчатым кодированием возможно повысить достоверность передачи, не расширяя при этом полосу частот сигнала. Такие схемы используют избыточную модуляцию.

К информационным и сигнальным параметрам системы передачи информации относятся скорость передачи информации, достоверность передачи информации, вид и параметры модуляции сигнала, полоса частот системы.

Особое место среди этих параметров занимает энергетика и полоса частот системы. Соответственно при приеме и передаче в таких системах

возникает вероятность принятия ошибочного бита информации, что приводит к возникновению помех в сетях связи.

Для уменьшения помех существует алгоритм нахождения эффективности кодирования, подразумевающий уменьшение отношения сигнал/шум – отношение энергии сигнала на 1 бит к плотности шумов на 1 Гц.

Данный алгоритм, основанный на нахождении метрики расстояний между сигналами для амплитудной и фазовой модуляций, использует логарифмическое отношение кодированной и некодированной систем и является важнейшей характеристикой корректирующего кода в канале связи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Акулиничев, Ю. П.** Теория электрической связи [Текст: электронный] учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. ш–ш193рс.ш–зURL: <https://www.iprbookshop.ru/72193.html>

2 **Данилов, В. А., Жабинский, Ю. В., Львов, В. Л.** Теория электрической связи. Методическое пособие для проведения практических занятий [Текст: электронный] / – Ростов-на-Дону : Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, 2012. – 38рс. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/6180.html>

3 **Гоноровский, И. С.** Радиотехнические цепи и сигналы. [Текст]. Учебное пособие М. : Радио и связь, 2016

4 **Григорьев, В. А.** Теория электрической связи [Текст: электронный]: Сборник задач / В. А. Григорьев. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2012. – 78 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/68710.html>

5 **Иванов, М. Т., Сергиенко, А. Б., Ушаков, В. Н.** Теоретические основы радиотехники [Текст] Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2002

6 **Каганов, В. И., Битюков, В. К.** Основы радиоэлектроники и связи [Текст]: Учебное пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 542 с.

7 **Кон, Е. Л.** Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры [Текст: электронный] Учебное пособие / Е. Л. Кон, В. И. Фрейман. – Пермь : Пермский государственный технический университет, 2007. – 318 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/105635.html>

8 **Лузин, В. И.** Основы формирования, передачи и приема цифровой информации [Текст: электронный] Учебное пособие/ В.И. Лузин, Н.П. Никитин, В.И. Гадзиковский. – М. : СОЛОН-Пр., 2014. – 316 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/493066>

9 **Вадутов, О. С.** Математические основы обработки сигналов. Практикум : учебное пособие/ О. С. Вадутов. – Томск : Томский политехнический университет, 2014. – 102 с. – [Текст: электронный] // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/34676.html>

10 **Малинкин, В. Б.** Основы адаптивной цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В. Б. Малинкин. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2011. – 266 с. – [Текст: электронный] // Электронно – библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55487.html>

REFERENCES

1 **Akulichev, Yu. P.** Teoriya elektricheskoy svyazi [Electrical communication theory] [Tekst: elektronnyy] uchebnoye posobiye / **Yu. P. Akulichev., Berngardt, A. S.** – Tomsk : Tomskiy gosudarstvennyy universitet sistem upravleniya ishchradioelektroniki.o2015.shch-sh193rc.sh-zURL: <https://www.iprbookshop.ru/72193.html>

2 **Danilov, V. A., Zhabinskij, YU. V., L'vov, V. L.** Teoriya elektricheskoy svyazi. Metodicheskoe posobie dlya provedeniya prakticheskikh zanyatij [Electrical communication theory. Methodological guide for practical training] [Tekst: elektronnyj] / – Rostov-na-Donu : Severo-Kavkazskij filial Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyaziniinformatiki, 2012. – 38rs. URL: <https://www.iprbookshop.ru/6180.html>

3 **Gonorovskij, I. S.** Radiotekhnicheskie cepi i signaly. [Radio circuits and signals] [Tekst] Uchebnoe posobie M.:Radio i svyaz', 2016

4 **Grigor'ev, V. A.** Teoriya elektricheskoy svyazi [Electrical communication theory] [Tekst: elektronnyj]: Sbornik zadach / V. A. Grigor'ev. – Sankt-Peterburg : Universitet ITMO, 2012. – 78 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/68710.html>

5 **Ivanov, M. T., Sergienko, A. B., Ushakov, V. N.** [Theoretical foundations of radio engineering] Teoreticheskie osnovy radiotekhniki [Tekst]: Uchebnoe posobie. – M.:Vysshaya shkola, 2002

6 **Kaganov, V. I., Bityukov, V. K.** Osnovy radioelektroniki i svyazi [Fundamentals of radio electronics and communications] [Tekst] Uchebnoe posobie dlya vuzov. –M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2007. – 542 s.

7 **Kon, E. L.** Teoriya elektricheskoy svyazi. Pomekhoustojchivaya peredacha dannyh v informacionno-upravlyayushchih i telekommunikacionnyh sistemah: modeli, algoritmy, struktury [Electrical communication theory. Interference-resistant data transmission in information management and telecommunication systems: models, algorithms, structures] [Tekst: elektronnyj] Uchebnoe posobie

/ E. L. Kon, V. I. Frejman. - Perm' : Permskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2007. - 318 c. URL: <https://www.iprbookshop.ru/105635.html>

8 **Luzin, V. I.** Osnovy formirovaniya. peredachi i priyema tsifrovoy informatsii [Fundamentals of the formation, transmission and reception of digital information] [Tekst: elektronnyj] Uchebnoye posobiye/ V.I. Luzin. N.P. Nikitin. V.I. Gadzikovskiy. - Moskva : SOLON-Pr.. 2014. - 316 p. URL: <https://znanium.com/catalog/product/493066>

9 **Vadutov, O. S.** Matematicheskie osnovy obrabotki signalov. Praktikum : uchebnoe posobie / O. S. Vadutov. – Tomsk : Tomskij politekhnicheskij universitet, 2014. – 102 c. – [Mathematical foundations of signal processing. Workshop: a tutorial] [Tekst: elektronnyj] // Elektronno-bibliotechnaya sistema IPR BOOKS : [sajt]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/34676.html>

10 **Malinkin, V. B.** Osnovy adaptivnoj cifrovoj obrabotki signalov : uchebnoe posobie / V. B. Malinkin. – Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2011. – 266 c. – [Fundamentals of adaptive digital signal processing: a tutorial] [Tekst: elektronnyj] // Elektronno-bibliotechnaya sistema IPR BOOKS: [sajt]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55487.html>

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*А. С. Звонцов¹, А. П. Кислов²

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ЦИФРЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ТОРЛАРДЫ КОДТАУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Мақалада байланыс желілеріндегі торды кодтау мәселелері қарастырылады.

Ақпаратты жіберуге арналған құрылғыларды жобалау кезінде әзірлеушілерге техникалық тапсырманы оңтайлы түрде орындауға мүмкіндік беретін осы құрылғылардың параметрлерін таңдау мәселесін шешуге тура келетіні көрсетілген. Бұл жағдайда бір бит ақпаратты берудегі қателерді азайту қажет. Бұл мүмкіндік байланыс жүйелерінде модуляцияны қолдану есебінен рұқсат етіледі – жіберілетін хабарламаға сәйкес тасымалдаушы толқынның бір немесе бірнеше параметрлерін өзгерту. Ақпаратты тасымалдау жүйелерінің бөлігі ретінде кодтау құрылғыларын пайдалануды есепке алмай, жіберілетін деректердің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету мүмкін емес.

Кез келген екі код комбинациясы арасындағы барлық мүмкін қашықтықтардың арасындағы кеңістіктегі ең аз қашықтық ретінде анықталған қатені түзететін кодтың ең маңызды сипаттамасы – Хемминг қашықтығы арқылы кодтау тиімділігінің бағасын табу мысалдары келтірілген.

Шығарылған кеңейтілген жиынды кодталған мәндер топтарының ішкі жиындарына бөле отырып, кодталған хабарламаны беру үшін пайдаланылатын сигналдардың торлы жинағын құру арқылы кодтаушыны есептеу алгоритмі көрсетілген.

Гармоникалық тербелістердің амплитудалық және фазалық модуляцияларын кодтау нәтижелері алынған.

Берілген есептеу мысалдары кодталмаған және кодталған жүйелердегі сигналдардың геометриялық жиынын есептеу туралы түсінік береді.

Кілтті сөздер: сандық байланыс жүйелері, ақпарат беру жүйелері, амплитудалық модуляция, фазалық модуляция, шуылға қарсы код, торды кодтаудың тиімділігі, қашықтық метрикасы, Хемминг қашықтығы.

*А. S. Zvontsov¹, A. P. Kislov²

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 15.09.22.

EVALUATION OF TRELIS-CODED MODULATION EFFICIENCY IN DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS

The article deals with the issues of trellis-coded modulation in communication networks.

It is shown that when designing devices for transmitting information, developers have to solve the problem of choosing the parameters of these devices that allow them to perform the technical task in an optimal way. At the same time, it is necessary to minimize errors in the transmission of one bit of information. This possibility is achieved due to the use of modulation in communication systems - changing one or more parameters of the carrier wave in accordance with the transmitted message.

Ensuring high reliability of the transmitted data is impossible without taking into account the use of coding devices within information transmission systems.

The article gives examples of estimating the coding efficiency using the Hamming distance - the key characteristic of an error-correcting code

defined as the minimum distance in space among all possible distances between any two code combinations.

An algorithm is shown for encoder calculation through the construction of a trellis set of signals used to transmit a coded message, dividing the generated extended set into subsets of groups of coded values.

The results of coding for amplitude and phase modulations of harmonic oscillations are obtained.

The given calculation examples give an idea of calculating the geometric set of signals in uncoded and coded systems.

Keywords: digital communication systems, information transmission systems, amplitude modulation, phase modulation, noise-resistant code, efficiency of lattice coding, distance metric, Hamming distance.

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/WVIX4347>

***Д. Д. Исабеков**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ МАСЛА В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ

В настоящей статье автор рассматривает вопрос использования для контроля уровня масла в силовом трансформаторе, позволяющей выполнить его без использования стрелочного, стеклянного плоского, трубчатого или другого вида маслоуказателей. Исследования в этой области автором начаты по рекомендации международного комитета по большим энергетическим системам СИГРЭ, которые остаются актуальными и по сегодняшний день. Известно, что сейчас широко внедрены и используются устройства релейной защиты, выполненные на микропроцессорах, надежность которых не выше, чем у электромеханических или полупроводниковых устройств, а стоимость в десятки, а то и сотни раз выше и в связи с этим актуальным является и вопрос выполнения контроля уровня масла в трансформаторе. Как раз одним из перспективных путей выполнения устройств контроля уровня масла в силовом трансформаторе и является использование герконов, имеющих свои преимущества в сравнении с устройствами выполненных с использованием вышеуказанных стрелочного, стеклянного плоского, трубчатого или другого вида маслоуказателей. Рассмотренный вид контроля уровня масла предлагает инновационный подход его выполнения для маслonaполненных силовых трансформаторов любого типа и класса номинального напряжения, обладающий при этом эффектом ресурсосбережения материалов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, герконы, уровень масла, температура, прозрачная колба.

Введение

Как известно сигнальные и контрольные устройства силовых трансформаторов охватывают комплекс приборов, следящих за его

нормальной работой во время его эксплуатации. Данные устройства делятся на две группы:

1) приборы, контролирующие состояние масла в силовом трансформаторе—маслоуказатели, термосигнализаторы, реле минимального уровня масла и т.д.;

2) приборы, контролирующие нормальную работу электрической части силового трансформатора, к примеру трансформаторы тока.

Силовые трансформаторы, заполненные маслом, снабжаются указателями его уровня—маслоуказателями. Маслоуказатель используют при колебаниях уровня масла в зависимости от изменений температуры окружающей среды и нагрузки самого трансформатора, а также при заливке масла в силовой трансформатор или его доливке в него. Он показывает уровень масла во всем диапазоне расширения масла—от минимального до максимально допустимого [1].

Выполнение контроля уровня масла силовых трансформаторов электрических станций и систем электроснабжения без традиционных стрелочного, стеклянного плоского, трубчатого, или другого вида маслоуказателя, согласно сессий СИГРЭ, считается также одной из принципиально нерешенной проблемой современной энергетики [2]. Одним из перспективных направлений решения данной задачи является реализация контроля уровня масла с помощью магнитоуправляемых элементов, имеющих, в зависимости от их типа преимущества перед другими такими же магнитоуправляемыми элементами [3–9]. Геркон выступает в качестве измерительного органа. Под воздействием на него внешнего магнитного поля, созданного постоянным магнитом концы контактов геркона намагничиваются разноименно и изгибаясь притягиваются к друг другу, замыкая электрическую цепь [10]. Достоинствами геркона при его выборе в качестве элементной базы является то, что управляющий сигнал передается по цепям управления, а не по измерительным, низкая себестоимость, малые весогабаритные параметры, большой срок службы, т.е. налицо эффект ресурсосбережения. В представленной работе рассмотрен вариант использования герконов для реализации контроля уровня масла силовых трансформаторов любых типов и класса номинального напряжения.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования – контроль уровня масла силовых трансформаторов. Целью применения и назначением является выполнение контроля уровня масла силовых трансформаторов на магнитоуправляемых элементах – герконах и их использование вместо традиционных и широко используемых стрелочного, стеклянного плоского, трубчатого маслоуказателей. Результат исследования и проработки научных

статей и патентов по данной тематике позволил предложить новый тип устройства контроля уровня масла, выполненный на герконах для силовых трансформаторов.

Результаты и обсуждение

Контроль уровня масла представлен в виде устройства и работает следующим образом. В исходном положении устройство располагается в пространстве между уровнем масла и верхней частью расширительного бака силового трансформатора, причём, верхний 16 и нижний 17 постоянные магниты не касаются, а нижний конец прозрачной колбы 11 касается уровня масла. При изменении уровня масла в баке трансформатора 9, т.е. при его повышении или понижении, соответственно изменяется уровень масла и в расширительном баке 10. При этом прозрачная колба 11 перемещается вверх или вниз вдоль уровня перемещения 18, и вместе с ней перемещаются, расположенные внутри неё герконы 1, 2, 3 и 4. Перед тем, как включить трансформатор в работу, предварительно, открутив крышки 12 прозрачной колбы 11 внутрь неё устанавливают четыре геркона 1, 2, 3 и 4 на держатели 14 при помощи хомутов 15 (рис.1). После этого к стенке расширительного бака 10 при помощи первых 22 и вторых 25 винтов, установив предварительно с двух сторон прозрачной колбы 11 маслостойкие прокладки 26, прикручивают её с помощью первых винтов 22 посредством первых двух осей 21 к стенке расширительного бака 10, а также верхний 16 и нижний 17 постоянные магниты, с помощью скоб 23, посредством вторых осей 24 и с помощью вторых винтов 25 также к стенке расширительного бака 10 (рис.2). Герконы 1 и 2 располагаются в верхней части, а герконы 3 и 4—в нижней части прозрачной колбы 11, при этом изначально они не оказываются в магнитном поле верхнего 16 и нижнего 17 постоянных магнитов и контакты 5, 6, 7 и 8 данных герконов 1–4 не замыкаются. Расположение верхнего 16 и нижнего 17 постоянных магнитов соответствует максимальной и минимальной отметке уровня масла в расширительном баке 10, и соответственно уровню масла в баке трансформатора 9. Если уровень масла в баке трансформатора 9 соответствует номинальному, данные контакты 5, 6, 7 и 8 герконов 1, 2, 3 и 4 остаются разомкнутыми и сигнал о неисправности, либо на отключение трансформатора отсутствует.

При повышении уровня масла в баке трансформатора 9, обусловленного возросшей нагрузкой или повышением температуры окружающего воздуха, повышается, соответственно и уровень масла в расширительном баке 10 до максимальной отметки. В этом случае масло, имеющееся внутри расширительного бака 10 поднимает вверх прозрачную колбу 11 вдоль уровня перемещения 18, достигая начального уровня 27 с температурой (рис.2). Геркон 1 проходит сквозь верхний 16 постоянный магнит и попадает

под действие его магнитного поля, в результате его контакт 5 замыкается и подаёт сигнал в цепь звуковой и световой сигнализации о повышении уровня масла в баке трансформатора 9. При дальнейшем повышении уровня масла в баке трансформатора 9, прозрачная колба 11 продолжает подниматься вверх, достигает предельного уровня 28 с температурой .В этом случае геркон 2 также проходит сквозь верхний 16 постоянный магнит и попадает под действие его магнитного поля, контакт 6 геркона 2 замыкается и как следствие, подаёт сигнал в цепь отключения трансформатора от электрической сети.

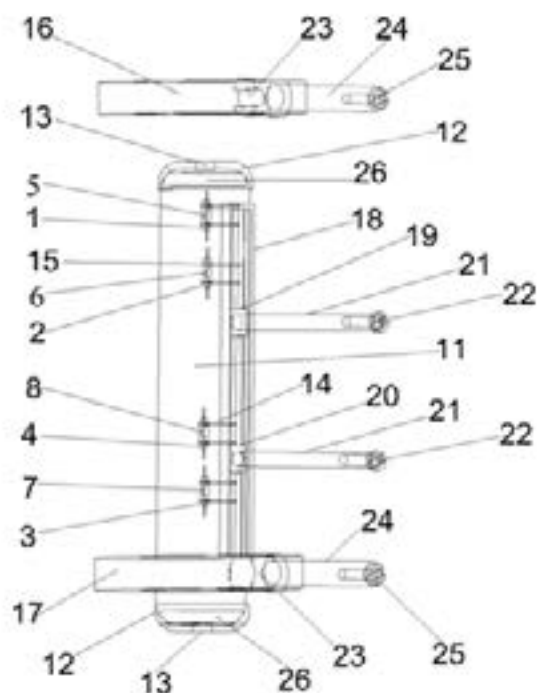


Рисунок 1 – Устройство контроля уровня масла в силовом трансформаторе

Понижению же уровня масла в баке трансформатора 9 может привести к его возгоранию, плавлению обмоток или его полному разрушению. В связи с этим, уровень масла в расширительном баке 10 также понижается

и доходит до минимальной отметки. При этом масло, имеющееся внутри расширительного бака 10 снижаясь опускает вниз прозрачную колбу 11 вдоль уровня перемещения 18, достигая начального уровня 29 с температурой (рис.2). Геркон 3 проходит сквозь нижний 17 постоянный магнит и попадает под действие его магнитного поля, контакт 7 данного геркона 3 замыкается и подаёт сигнал в цепь звуковой и световой сигнализации о понижении уровня масла в баке трансформатора 9. При дальнейшем понижении уровня масла в баке трансформатора 9, прозрачная колба 11 продолжает опускаться вниз, достигая предельного уровня 30 с температурой . В результате геркон 4 также проходит сквозь нижний 17 постоянный магнит и попадает под действие его магнитного поля, контакт 8 геркона 4 замыкается и подаёт сигнал в цепь отключения трансформатора от электрической сети.

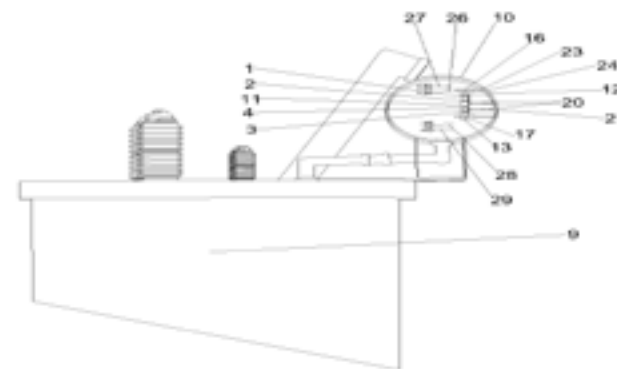


Рисунок 2 – Крепление устройства контроля уровня масла в расширительном баке трансформатора

Выводы

Представленное устройство обладает эффектом ресурсосбережения материалов и позволяет отказаться от использования стрелочного, стеклянного плоского и трубчатого маслоуказателей. Помимо этого герконы обладают рядом преимуществ, по сравнению с элементами стрелочного, стеклянного плоского, трубчатого маслоуказателей, а именно: простотой эксплуатации, малым весом, длительным сроком службы – срабатываний, возможностью эксплуатации при температурах от – 60 до + 125 °С и как итог

дешевизна самого устройства, исключая значительные материальные затраты на его выполнение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Серебряков, А.С.** Трансформаторы : учеб. пособие / А. С. Серебряков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 360 с.:
- 2 **Дьяков, А. Ф.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – №4. – С. 7–16.
- 3 **Казанский, В. Е.** Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
- 4 **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.
- 5 **Котенко, Г. И.** Магниторезисторы. – Л. : Энергия, 1972. – 80 с.
- 6 **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.
- 7 **Егиазарян, Г. А., Стафеев, В. И.** Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М. : Радио и связь, 1987. – 88 с.
- 8 **Овчаренко, Н. И., Дорогунцев, В. Г., Басс, Э. И., Будкин, В. В.** Применение гальваномангнитных элементов в релейной защите и автоматике. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 120 с.
- 9 **Карабанов, С. М., Майзельс, Р. М., Шоффа, В. Н.** Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе. – Долгопрудный: Издательский Дом Интеллект, 2011. – 408 с.
- 10 **Исабеков, Д. Д.** Multipurpose Power System Protection Set that Provides Constant Remote Serviceability Control. Сборник докладов конференции 2022 International Conference on Industrial Engineering, 2022г. С. 35–39.

REFERENCES

- 1 Transformers: textbook / A. S. Serebryakov. – M. : Moscow Power Engineering Institute Publishing House. –2013. – 360 p.
- 2 **Dyakov, A. F.** Industria electrica potentia in mundi principio XXI century et (fundatur in 39-th sessionem ex materia CIGRE, Paris) [Text] // [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials

of the 39 session of CIGRE, Paris) [Text]] «Foris Energy» Journal – 2004. – №4. – P. 7–16.

3 **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.]–M., Engineering scientific and Information Agency. – 2009. – P. 49–59.

4 **Kazansky, V. E.** Nullam mensuræ in transducers current praesidio. [Measuring current transducers in relay protection [Text]] – M.: Energoatomizdat. – 1988. – 240 p.

5 **Kotenko, G. I.** Magneto resistors. [Magneto resistors] – L., Energy. – 1972. – 80 p.

6 **Kobus, A., Tushinsky, J.** Aula sensoriis et magneto resistors / per. ex Poloniae, Tikhonova, K.B. Macidonian; ed. OK. Khomeriki. [Hall sensors and magneto resistors / per. from Polish in and. Tikhonova, K. B. Macidonian; ed. OK. Khomeriki] – M., «Energy». – 1971. – 352 p.

7 **Egiazaryan, G. A., Stafeev, V. I.** Magnetodiodes, et magnetotransistors applications. [Magnetodiodes, magnetotransistors and their applications] – M., Quod communicationis Radio. – 1987. – 88 p.

8 **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] – M.; L., Energy. – 1966. – 120 p.

9 **Karabanov, S. M., Maisels, R. M., Shoffa, V. N.** Magnetically contactus operated (switch calamo uno) et secundum eorum products. [Magnetically operated contacts (reed switches) and products based on them] – Dolgoprudny: Libellorum domus Intellectus. – 2011. – 408 p.

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

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*Д. Д. Исабеков

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ҚУАТ ТРАНСФОРМАТОРЫНДАҒЫ МАЙ ДЕҢГЕЙІН БАҚЫЛАУ

Бұл мақалада автор май деңгейін бақылау үшін күштік трансформатордағы май деңгейін пайдалануды қарастырады, бұл оны көрсеткішті, шыны жалпақ, құбырлы немесе май көрсеткіштерді басқа түрін қолданбай орындауға мүмкіндік береді. Бұл бағыттағы зерттеулерді автор CIGRE ірі энергетикалық жүйелерінің халықаралық комитетінің ұсынысы бойынша бастады, ол бүгінгі күнге дейін өзекті болып отыр.

Қазіргі уақытта микропроцессорлар негізіндегі релейлік қорғаныс құрылғылары кеңінен енгізіліп, қолданылып жатқаны белгілі, олардың сенімділігі электромеханикалық немесе жартылай өткізгіш құрылғыларға қарағанда жоғары емес, ал құны ондаған, тіпті жүздеген есе жоғары және осыған байланысты трансформатордағы май деңгейін бақылау мәселесі де өзекті болып табылады. Күштік трансформатордағы май деңгейін бақылау құрылғыларын жасаудың перспективалы әдістерінің бірі ғана жоғарыда аталған көрсеткішті, шыны жалпақ, құбырлы немесе басқа түрдегі май көрсеткіштері қолдану арқылы жасалған құрылғылармен салыстырғанда өз артықшылықтары бар геркондарды пайдалану болып табылады. Мұнай деңгейін бақылаудың қарастырылып отырған түрі ресурсты үнемдейтін материалдар әсеріне ие бола отырып, кез келген типті және номиналды кернеу класындағы май толтырылған күштік трансформаторлар үшін оны жүзеге асырудың инновациялық тәсілін ұсынады.

Кілтті сөздер: күштік трансформатор, геркондар, май деңгейі, температура, мөлдір колба.

*D. D. Issabekov

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.09.22.

MONITORING THE OIL LEVEL IN THE POWER TRANSFORMER

In this article the author considers the issue of using to control the oil level in a power transformer, which allows to perform it without using an arrow, glass flat, tubular or other type of oil indicator. Research in this area the author began on the recommendation of the international committee on large energy systems CIGRE, which remain relevant to the present day. It is known that now widely implemented and used relay protection devices made on microprocessors, the reliability of which is not higher than that of electromechanical or semiconductor devices, and the cost is tens or even hundreds of times higher; and in this regard, the question of monitoring the oil level in the transformer is also relevant. Just one of the promising ways to perform devices control the oil level in the power transformer and is the use of reed switches, which have advantages in comparison with devices made with the use of the above-mentioned pointer, flat glass, tubular or other types of oil detectors. The considered type of oil level control offers an innovative approach of its implementation for oil-filled power transformers of any type and class of rated voltage, while having the effect of resource-saving materials.

Keywords: power transformer, reed switches, oil level, temperature, transparent bulb.

<https://doi.org/10.48081/JTDY1576>

***Ж. Б. Исабеков¹, Б. Б. Исабекова², А. Б. Жантлесова³,
У. К. Жалмагамбетова⁴**

^{1,2,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³Казахский государственный университет им. С.Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

КОММЕРЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Подход, представленный в этой статье, определяет различные типы технических потерь в распределительной сети и связывает потери с процентной долей различных сегментов. Каждый участок распределительной сети затем подвергается статистической оценке, чтобы определить, соблюдается ли энергетический баланс для этого участка сети. Этот подход может выявить проблемы, и если она существует в электрической распределительной сети. Выявляя проблемные области предоставляющих услуг энергокомпаний, занимающиеся распределением электроэнергии, можно сэкономить доходы потребителей электроэнергии, путем уменьшения ценообразования на тариф электроэнергию.

Неэффективность использования электрической энергии в основном связана с потерями на низковольтных участках распределительной электрической сети и подразделяется на технические и нетехнические потери. Технические потери, могут быть рассчитаны и использованы для оценки общих потерь в распределительной сети. Используя оценочное значение технических потерь на участке электрической сети и значение общей отпускаемой электроэнергии, поставленной на этот участок распределительной сети, можно определить нетехнические потери в распределительной сети. Выявление проблем, вызывающих нетехнические потери, создает возможности для повышения эффективности использования электроэнергии в электрической распределительной сети.

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

Введение

Увеличение стоимости энергии и действия экологов по защите природных ресурсов вынуждают снабжающие предприятия экономить и сокращать потребление энергии [1]. Многие компании также вынуждены использовать мероприятия по снижению потребления энергии в периоды пикового спроса и применять методы энергоэффективности [2–4]. Таким образом, сейчас в целях экономии уделяется особое внимание на уменьшение потери энергии, возникающие в сетях электроснабжения [5–8].

Снижение технических и нетехнических потерь обеспечит снижение стоимости электроэнергии для поставщика, так как будет использоваться меньше электроэнергии от генерирующей компании. Что позволит уменьшить стоимость электроэнергии для потребителя, так как ему не придется оплачивать потери в сети электроснабжения [9–10].

Материалы и методы

Эффективное использование электрической энергии включает в себя все технические и экономические (нетехнические) меры, направленные на снижение потребности в электроэнергии распределительной сети. Хотя реализация стратегии управления электроэнергией может потребовать первоначальных инвестиций, краткосрочная финансовая отдача может быть достигнута за счет экономии затрат на электроэнергию. Основное внимание уделяется разработке рекомендаций снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях, которые имеют высокий спрос на электроэнергию и, следовательно, высокий потенциал для энергосбережения. Потребность в энергии растет на 2,6 % в год, общее потребление энергии к 2050 г. удвоится по сравнению с уровнем потребления в 1998 г [2]. Задача состоит в том, чтобы разорвать связь между экономическим ростом и потреблением электроэнергии за счет внедрения эффективных производственных процессов и сокращения расходов. По данным Всемирного банка, электроэнергетика в развивающихся странах теряет более 20 % вырабатываемой электроэнергии из-за потери электроэнергии в электрических сетях, связанные с хищениями или неэффективности. Существуют огромные возможности для снижения потерь электроэнергии, использующих районные распределительные системы. По данным Всемирного банка, использование электроэнергии в жилом секторе неэффективно, но экономия электроэнергии может быть увеличена либо за счет использования энергосберегающего освещения, либо, что более важно, может быть исследовано потребление электроэнергии

физических лиц и выполнено стратегическое планирование управления спросом для снижения потерь электроэнергии в этом направлении.

Потребление электроэнергии физических лиц составляет 20 % национального пикового спроса на электроэнергию и является крупнейшим сектором клиентской базы в сети распределения электроэнергии. Таким образом, ожидается, что доля потребления электроэнергии вырастет, если рост числа потребителей и спрос на электроэнергию будут постоянно увеличиваться. Таким образом, рост спроса на электроэнергию вынуждает электроснабжающие компании и предприятия либо сокращать потери электроэнергии, либо производить больше энергии, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Идеальная сеть распределения электрической энергии будет вырабатывать электрическую мощность X и распределять в сеть электрическую мощность, равную X . Из-за потерь в передающих и распределительных участках сети электрической энергии в сеть распределяется меньше X электрической энергии. Эти потери электрической энергии являются системными потерями электрической распределительной сети.

Системные потери электрической распределительной сети можно разделить на две основные группы: технические потери и коммерческие потери. Коммерческие (нетехнические) преобладают на линиях распределительной сети и представляют собой потери из-за:

-потери, связанные с погрешностями при учете (недостаточный класс точности, неисправности приборов учета, ошибки при снятии показаний или их умышленное искажение и т.д.);

-потери электроэнергии в электрических сетях, связанные с хищениями;

-потери при выставлении счетов, связанные с отсутствием точной информации о потребителях и действующих для них условий потребления энергии;

-потери при востребовании оплаты (долговременные долги, значительные разрывы во времени между выставлением счета и оплатой и т.д.).

Однако полученное значение отчетных потерь, как правило, отражает не только физические процессы, происходящие при передаче электрической энергии по электрическим сетям, но и такие явления, как погрешность системы учета электрической энергии, неодновременность снятия показаний приборов учета электрической энергии, все виды недоплат, хищения и пр. Все эти факторы характеризуют объем коммерческих потерь. Суммарное значение отчетных потерь электрической энергии в целом по отрасли соизмеримо с выработкой электрической энергии всеми атомными станциями страны [2].

Мировая статистика показывает, что чем ниже уровень жизни в регионе, тем выше потери электроэнергии. Например, в Индии фактические

потери электроэнергии превышают 26 %. Фактические (отчетные) потери, как известно, определяются разницей показаний счетчиков поступления электроэнергии в сеть и ее полезного отпуска потребителям [2].

Сокращение коммерческие потерь будет иметь прямую экономическую выгоду в виде снижения ценообразования электроэнергии, которые заложены в тариф потребителей, и увеличит выручку от продажи электроэнергии распределительные снабжающей компании, так как потери электроэнергии снижаются, и потребителю может быть продано больше электроэнергии. Коммерческие потери почти невозможно рассчитать из первых принципов, поскольку эти потери зависят от вмешательства человека в сеть распределения электроэнергии. Поэтому для расчета коммерческих потерь необходим косвенный подход. Косвенный подход к расчету коммерческих потерь в электрической распределительной сети предложен Дэвидсоном и др. [2].

Коммерческие и технические потери распределительной сети взаимосвязаны и рассчитываются как общие потери электрической распределительной сети. Поэтому необходимо получить расчетные оценочные значения либо технических, либо коммерческих потерь в сети. Как уже упоминалось, коммерческие потери невозможно рассчитать, поэтому технические потери должны быть получены и количественно определены для электрической распределительной сети [2]:

$$R_{\text{коммерческие}} = \sum R_{\text{произведенные}} - (\sum R_{\text{распределенные}} + \sum R_{\text{технические}} \text{ потери}) \quad (1)$$

Для определения технических потерь была построена модель для количественной оценки технических потерь в распределительной сети. Модель прогнозирует технические потери участка распределительной сети и используется для расчета оценочной стоимости электроэнергии, потребляемой участком распределительной сети. Метод, используемый для расчета технических потерь электрической распределительной сети, позволяет получить оценочные значения потерь энергии для каждого сегмента распределительной сети.

При измерении потребления электроэнергии в электрической распределительной сети одновременно измеряются технические и коммерческие потери. Из-за этого одновременного измерения необходимо получить оценочные значения технического использования энергии для технических потерь в сети. Таким образом, при количественной оценке технических потерь коммерческие потери можно рассчитать с использованием косвенного подхода, как указано в уравнении 1.

t-критерий для двух зависимых (парных) выборок. t-критерий используется для сравнения предполагаемых общих потерь в сети и измеренных сетевых потерь для распределительной сети [4]. Используется t критерий, поскольку он анализирует только отличия двух выходных электрических энергий от входных. Таким образом, исключается изменение других факторов, которые могут влиять на участок сети в распределительной сети. Полученные разные данные при измерениях в сети в начале и конце участка могут быть связаны с различной географической расположенностью, местностью, в которой проложены кабели, длиной кабелей и внешней средой, то есть погодными условиями. Таким образом, используя t критерий, отличающие измерения в сети выполняются в однородных условиях, но условия различных показаний могут меняться для каждого сетевого участка в сети.

Следующее объяснение иллюстрирует однородные условия, при которых проводятся измерения. Пусть X_1 быть набором измерений, представляющих оценочные значения сегмента сети и X_2 быть набором измеренных значений для одного и того же сегмента сети. Предположим, что среднее значение и дисперсия для популяций, представленных X_1 находятся μ_1 и σ_1^2 , а также среднее значение и дисперсия совокупности, представленной X_2 являются μ_2 и σ_2^2 . Разница каждой пары наблюдений определяется как $D_j = X_{1j} - X_{2j}$, где $j = 1, 2, 3$. Предполагается, что разность каждой пары нормально распределена со средним:

$$\mu_D = E(X_1 - X_2) = EX_1 - EX_2 = \mu_1 - \mu_2 \quad (2)$$

и дисперсия σ_D . Таким образом, проверка гипотез о различии между μ_1 , а также μ_2 можно выполнить, выполнив расчет по t-критерию. В частности, тестирование $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$ против $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$ эквивалентно тестированию:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_D = \Delta_0 \\ H_1: \mu_D \neq \Delta_0 \end{aligned} \quad (3)$$

Статистика, используемая в модели, представлена следующим образом:

$$T_0 = \frac{\bar{D} - \Delta_0}{s_D / \sqrt{n}} \quad (4)$$

где \bar{D} – выборочное среднее наблюдений,

Δ_0 – постоянная,

s_D – стандартное отклонение выборки,

n – количество выборок при наблюдении за участком сети (обычно $n = 3$).

t критерий дает значение, которое необходимо сравнить с заранее определенным значением t. Он используется для определения уровня уверенности в том, что средние значения двух выборок значительно отличаются друг от друга или наоборот. Если значение существенно не отличается, предполагается, что сегмент сети функционирует правильно без каких-либо существенных потерь коммерческих потерь. Но если есть значительная разница в значении, предполагается, что на данном участке сети предполагаются значительные коммерческие потери, и, таким образом, сегмент распределительной сети идентифицируется как проблемная область.

Далее разрабатываются мероприятия для устранения или минимизации потерь в электрической сети.

Результаты и обсуждение. В настоящее время, где большое внимания уделяется энергоэффективности, становится необходимым не только распределять электрическую энергию, но и уделять внимание проверке методов управления электрической энергией. Эта проверка должна помочь уменьшить потери электроэнергии, и принципом, лежащим в основе снижения этих потерь, является структурированная стратегия управления потерями электроэнергии. Стратегия, используемая для проверки выявления потерь в электрической распределительной сети, разделена на пять этапов, как показано на рисунке 1



Рисунок 1 – Этапы проверки выявления потерь в электрической распределительной сети

Эти пять шагов используются для выявления проблемных областей и их улучшения. В следующей итерации модели эти выявленные проблемные области должны иметь более низкий приоритет, чем предыдущая итерация.

Если проблемная область выше, то предположение о параметрах модели считается неточным для конкретного участка сети и мероприятия должны быть пересмотрены. Модель распределительной сети считается правильной, если выявленные проблемные области имеют более низкий приоритет, чем на предыдущей итерации модели.

Информацию о финансировании

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

Выводы

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Davidson, E and Odubiyi, A.** Technical loss computation and economic dispatch model for T&D systems in deregulated ESI, Power Engineering Journal. – 2002. – P. 55.

2 **Douglas, G, Montgomery, GC and Runger, NH.** Engineering Statistics, John Wiley and Sons, Arizona State University. – 2000. – P. 140–151.

3 **Semenov, A.S.** Lower the economic losses in electric networks // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 12. – С. 57–59. URL: <http://expeducation.ru/ru/article/view?id=4291> (дата обращения: 17.08.2022).

4 **Могиленко, А.** Снижение потерь электроэнергии. Опыт разных стран. Новости ЭлектроТехники. – 2014. – № 6 (90). – С.29–35.

5 **Садовская, А.** Аспекты снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Энергетика. – 2015. – № 4 (55). – С.18–21.

6 **Воротницкий, В. Э., Калинкина, М. А.** Об опыте расчётов, анализа и нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях России и Казахстана. 2019. URL: <https://ken.kz/news/opyt-raschetov> (дата обращения: 17.08.2022).

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

Belgium, IEEE. – 2013. <http://toc.proceedings.com/19894webtoc.pdf>. (дата обращения: 17.08.2022).

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

9 **Боровиков, В. С., Волков, М. В., Иванов, В. В.** и др. Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири : Монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. – 228 с.

10 **Акмузин, А., Исенов, Е.** Управление качеством электроэнергии в электрических сетях Республики Казахстан с позиции национальных интересов и стратегии международного электроэнергетического сотрудничества. Энергетика – 2014. – № 4 (51). – С. 20–22.

REFERENCES

1 **Davidson, E and Odubiyi, A.** Technical loss computing and economic dispatch model for T&D systems in deregulated ESI, Power Engineering Journal. – 2002. – P. 55.

2 **Douglas, G, Montgomery, GC and Runger, NH.** Engineering Statistics, John Wiley and Sons, Arizona State University. – 2000. – P. 140–151.

3 **Semenov, A.S.** Lower the economic losses in electric networks // Mezhdunarodny`j zhurnal e`ksperimental`nogo obrazovaniya. – 2013. – No. 12. – PP. 57-59. URL: <http://expeducation.ru/ru/article/view?id=4291> (accessed: 08/17/2022).

4 **Mogilenko, A.** Snizhenie poter` e`lektroe`nergii. Opy`t razny`x stran. Novosti E`lektroTexniki. – 2014. – № 6 (90). – S. 29-35.

5 **Sadovskaya, A.** Aspekty` snizheniya poter` e`lektroe`nergii v e`lektricheskix setyax. E`nergetika. – 2015. – №4(55). – S.18–21.

6 **Vorotniczkij, V.E`., Kalinkina, M.A.** Ob opy`te raschyotov, analiza i normirovaniya poter` e`lektroe`nergii v e`lektricheskix setyax Rossii i Kazaxstana. 2019. URL: <https://ken.kz/news/opyt-raschetov> (data obrashheniya: 17.08.2022).

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

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

9 **Borovikov, V.S., Volkov, M.V., Ivanov, V.V** i dr. Опу`t korporativnogo obsledovaniya e`lektricheskix setej 110 kV Sibiri: Monografiya. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politexnicheskogo universiteta. – 2010. – 228 P.

10 **Akmuzin, A., Isenov, E.** Upravlenie kachestvom e`lektroe`nergii v e`lektricheskix setyax Respubliki Kazaxstan s pozicii nacional`ny`x interesov i strategii mezhdunarodnogo e`lektroe`nergeticheskogo sotrudnichestva. E`nergetika, 2014. – № 4 (51). – P. 20–22.

Материал поступил в редакци 15.09.22

*Ж. Б. Исабеков¹, Б. Б. Исабекова²,

А. Б. Жантілесова³, У. К. Жалмагамбетова⁴

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

⁴Сейфуллин атындағы Қазақ мемлекеттік университеті Қазақстан

Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ТАРАТУШЫ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ КОММЕРЦИЯЛЫҚ ШЫҒЫНДАРЫ

Осы мақалада келтірілген тәсіл тарту желісіндегі техникалық шығындардың әртүрлі түрлерін анықтайды және шығындарды әртүрлі сегменттердің пайыздық үлесімен байланыстырады. Содан кейін тарту желісінің әр бөлімі желінің осы бөлімі үшін энергия балансының сақталуын анықтау үшін статистикалық бағалаудан өтеді. Бұл тәсіл проблемаларды анықтай алады және егер ол электр тарту желісінде болса. Электр энергиясын тартумен айналысатын энергия компанияларының қызметтерін ұсынатын проблемалық аймақтарды анықтау арқылы электр энергиясының тарифіне бағаны төмендету арқылы электр энергиясын тұтынушылардың кірістерін үнемдеуге болады.

Электр энергиясын пайдаланудың тиімсіздігі негізінен тарту электр желісінің төмен вольтты учаскелеріндегі шығындармен байланысты және техникалық және техникалық емес шығындарға бөлінеді. Техникалық шығындар есептелуі және тарту желісіндегі жалпы шығындарды бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Электр желісінің учаскесіндегі техникалық ысыраптардың бағалау мәнін және тарту желісінің осы учаскесіне жеткізілетін жалпы босатылған электр энергиясының мәнін қолдана отырып, тарту желісіндегі техникалық емес шығындарды анықтауға болады.

*Техникалық емес шығындарды тудыратын мәселелерді анықтау
Электр тарту желісінде электр энергиясын пайдалану тиімділігін
арттыруға мүмкіндік береді.*

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

*J. B. Issabekov¹, B. B. Issabekova²,

A. B. Zhantlessova³, U. K. Zhalmagambetova⁴

^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁴Kazakh State University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 15.09.22.

COMMERCIAL LOSSES OF ELECTRIC ENERGY IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

The approach presented in this article identifies different types of technical losses in the distribution network and relates the losses to the percentage of different segments. Each section of the distribution network is then subjected to a statistical assessment to determine whether the energy balance is maintained for this section of the network. This approach can identify problems, and if it exists in the electrical distribution network. By identifying the problem areas of energy companies providing electricity distribution services, it is possible to save the incomes of electricity consumers by reducing the pricing of electricity tariffs.

Inefficiency in the use of electrical energy is mainly associated with losses in low-voltage sections of the distribution electrical network and is divided into technical and non-technical losses. Technical losses can be calculated and used to estimate the total losses in the distribution network. Using the estimated value of technical losses on a section of the electrical network and the value of the total electricity supplied to this section of the distribution network, it is possible to determine non-technical losses in the distribution network. The identification of problems causing non-technical losses creates opportunities to increase the efficiency of electricity use in the electric distribution network.

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

<https://doi.org/10.48081/TNAE8605>

***С. С. Исенов¹, А. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³,
С. К. Шеръязов⁴**

^{1,2}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

³Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

⁴Южно-Уральский государственный аграрный университет,
Российская Федерация, г. Челябинск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОУСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Материал статьи посвящен разработке системы автономного электроснабжения. Приведена специфика электропотребления сельскохозяйственных потребителей. Дана структурная схема гибридной системы электроснабжения на базе ветросолнечной электростанции и бензиновым электрогенератором. Выполнен анализ использования бензиновых и дизельных генераторов, который показывает, что для маломощных потребителей их применение нерентабельно, в связи с высокой стоимостью топлива и низким моторесурсом.

В статье приведен анализ нескольких широко известных автономных систем электроснабжения с конструкциями ветроколес подобных приведенному в статье, но имеющие ряд недостатков, которые затрудняют их применение на практике. Рассмотрен вариант ветрогенератора, ранее разработанный авторами статьи, у которого имеется два встречно вращающихся ветроколеса, который обладает преимуществами по сравнению с известными ветрогенераторами. Также предложена конструкция ветрогенератора на базе разработки авторов и принципиальная схема управления ветрогенератором и схема автономного электроснабжения, которые являются дальнейшим развитием как ветрогенерирующих установок, так и схем автономного электроснабжения.

Приведенная конструкция ветрогенератора, принципиальная схема управления системы автономного электроснабжения,

включающая автоматику ветрогенератора, позволяют существенно повысить генерацию электроэнергии.

Приведены алгоритм работы ветроустановки и системы электроснабжения результаты экспериментальных исследований разработанной ветроустановки специальной конструкции, в частности зависимости напряжения на выходе ветрогенератора на холостом ходу и под нагрузкой при различных скоростях ветра.

Предлагаемая система автономного электроснабжения с использованием солнечной и ветровой энергии может быть использовано, в частности, для сельских поселений, коттеджных, дачных поселков, комплексов отгонного животноводства, поливного земледелия и других фермерских хозяйств, малых предприятий различного назначения, отдаленных нефте- и газопромышленных участков.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, генерация электроэнергии, автономное электроснабжение, ветрогенератор, ветроколеса.

Введение

Малые ветросолнечные установки пользуются широкой популярностью в Казахстане [1]. Себестоимость электроэнергии генерируемой ВЭС в Республике Казахстан составляют 19,91 тенге для ВЭС и 15,54 тенге для СЭС [2]. В России аналогичные показатели составляют 4-10 руб. за кВт·ч для ВЭС, солнечной 3,5-5 руб. [1].

Востребованность малых ветросолнечных установок создает предпосылки в исследовании и разработке энергоэффективных ветросолнечных систем автономного электроснабжения.

В условиях роста потребления электроэнергии и тенденции увеличения потребления электроэнергии промышленностью и сельским хозяйством немаловажное значение приобретает внедрение возобновляемых источников энергии. Особенно важное значение приобретают ветроустановки небольшой малой 3-10 кВт мощности для небольших предприятий, удаленных от сетей централизованного электроснабжения, так передача на расстояние 1 км свыше 1 кВт электроэнергии за счет потерь становится нерентабельной. Обеспечение электропитания сельскохозяйственных объектов, осложняется тем, что ряд сельскохозяйственных объектов находится на значительном удалении от источников централизованного электроснабжения.

Автономное электроснабжение фермерских хозяйств может быть реализовано различными способами. Электроснабжение от дизельных и бензиновых генераторов ввиду чрезвычайной дороговизны не

находит применения и используется для категорированных объектов стратегического назначения. Как альтернативный источник энергии применяют ветрогенераторы, которые имеют достаточный энергетический потенциал, солнечные панели, у которых выработка электроэнергии меньше по сравнению с ветрогенераторами, водородные и биогазовые установки, которые характеризуются незначительным объемом выработки электроэнергии. Гидроэнергетика – имеет высокую эффективность, но требует значительных капитальных затрат, сравнимых с затратами на атомные электростанции, ТЭ и ГРЭС, и главное, – наличие водных артерий, применимых для строительства ГЭС.

Учитывая, что имеется устойчивая тенденция на повышение стоимости топлива, а на ветроэнергию – снижение стоимости оборудования, быстроту возведения (6 месяцев), снижение тарифов и дотационная политика в большинстве стран, в том числе и в Казахстане, вопрос исследования энергообеспечения сельских автономных потребителей от возобновляемого источника питания, а именно, энергии ветра, является актуальным и представляет научный и практический интерес.

Основной текст

В настоящее время специфика электроснабжения в Казахстане претерпевает существенные изменения. Начинает меняться структура сетей, изменяются нагрузки. Процесс этот непрерывен и изменяется в соответствие тенденций в сельском хозяйстве.

Особенностью потребителей электрической энергии в сельском хозяйстве является их низкая концентрация по сравнению городскими и промышленными. Учитывая малонаселенность территории Казахстана (для РК-6,3 чел/км², а для РФ-8,57 чел/км²) и слабую тенденцию к увеличению численности населения в целом, а в сельских районах наоборот – к снижению, развитие новых сельских сетей или малорентабельно или нерентабельно. Высокая протяженность сельских электрических сетей и их низкая загрузка 5-10 кВт /км² вынуждают передавать небольшие мощности на большие расстояния. Так обстоит ситуация для тупиковых сетей, обычно находящихся у границ РК, и в некоторых отдельных случаях. В целом, Казахстан обладает энергетической избыточностью и экспортирует электроэнергию в другие страны. Казахстан производит 106,8 млрд кВт·ч, экспортирует и импортирует в Россию и Киргизию около 5 млрд кВт·ч. Наибольший объем электроэнергии производится в Павлодарской области 42,5 млрд кВт·ч, что составляет 40,6 % от вырабатываемой в стране [3].

По данным департамента сельского хозяйства Павлодарской области нагрузки сельских сетей обусловлены потребителями и спецификой их

работы (рисунок 1 и рисунок 2), где P - мощность в относительных единицах (по отношению к максимальной).

Таким образом, особенностью сельских сетей является высокая протяженность и низкая плотность нагрузок по сравнению с промышленными или городскими сетями. При отсутствии электрических сетей для децентрализованных потреблений рекомендуется применение ветросолнечных электроустановок.

Автономная система энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей в комплексе включает себя источники электрической и тепловой энергии. Однако, на практике с точки зрения автономности больше рассматривают системы электроснабжения, так как системы теплоснабжения в РК целесообразно использовать для стационарных потребителей (тепллиц, стационарных откормочных цехов и предприятий) [4].

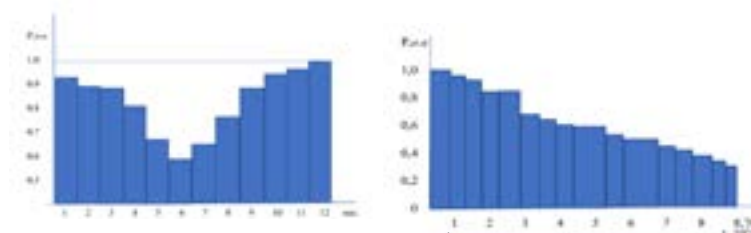


Рисунок 1– Годовые графики нагрузки по месяцам года и по продолжительности

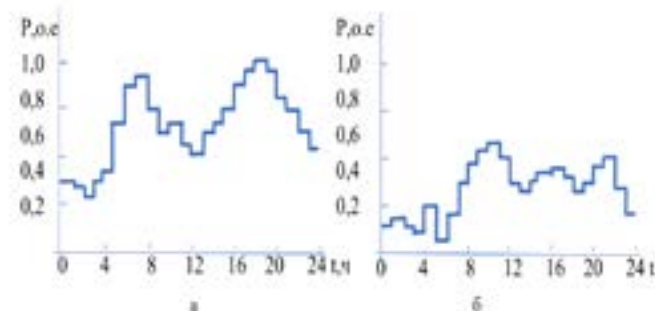


Рисунок 2 – Суточные графики нагрузки: а) для зимних дней; б) для летних дней

В статье будет рассматриваться электрообеспечивающая автономная система, которая, как правило, состоит из источника электроэнергии:

1) ветросолнечной установки; 2) отдельно из ветрогенерирующей установки; 3) из солнечных панелей (рисунок 3).

Бензиновые генераторы используют для кратковременного питания частных домов или небольших предприятий при перебоях в электроснабжении. Ресурс для двухтактных генераторов, то есть с двухтактными ДВС, обычно составляет 500 моточасов [5]. Мощность таких генераторов не превышает 1–2 кВт. Учитывая, что в году 8760 часов, то на год таких генераторов надо 18 штук.

Мощность четырехтактных 5–20 кВт, ресурс 4000 часов, стоимость от 500 тыс. тенге до 1 млн. тенге и выше в зависимости от фирмы изготовителя. Таких генераторов нужно в год два, то есть для получения 5–20 кВт в течении года потребителю нужно 1–2 млн. тенге на генератор и 350 г бензина на 1 час [6], то есть, 8,4 литра в сутки ($0,35 \times 24 = 8,4$ л). За год генератор проработает 8760 часов и сожжет 73584 литра бензина АИ 92 [7]. Стоимость бензина на год для этого генератора составит 10 млн. 964 тыс. 016 тенге.

Надо учитывать, что на год надо покупать 2 генератора. Тогда затраты: $10,954 \text{ млн. тенге} + 2 \text{ млн. тенге} \times 2 = 14,964 \text{ млн. тенге}$.

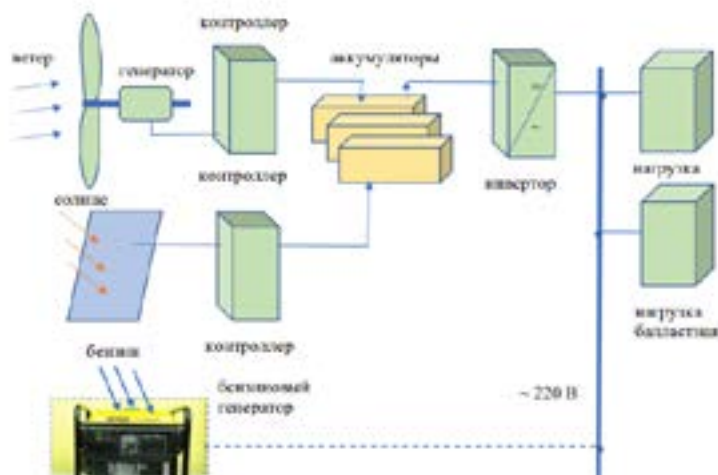


Рисунок 3 – Структурная схема автономной ветросолнечной электростанции с резервным бензиновым электрогенератором

Собственники с оборотом 2-3 млн тенге физически не смогут приобрести и эксплуатировать такой генератор. Приобретаемые населением

ветросолнечные установки по программе безвозвратного субсидирования в 2015-2018 годах в РК хорошо зарекомендовали себя и широко используются в частных подворьях, в отгонном животноводстве, поливном земледелии.

В ряде статей [8, 9] рекомендуют использовать ветродизельные установки. В частности, предлагается использовать дизельную станцию типа АД11С-230-2Р мощностью 10,8 кВт Новосибирского завода генераторных установок. Генератор имеет моторесурс 12000 часов. Под моторесурсом понимается технический параметр, характеризующий длительность эксплуатации. При превышении моторесурса дальнейшая эксплуатация невозможна по техническим причинам [9]. Стоимость АД11С-230-2Р – 3590000 тенге (цена 2021 г.) без дилеров, без доставки и НДС при покупке с завода изготовителя. При продаже в РК цена вырастет на 10–20 %. Поставляется с машинным маслом, охлаждающей жидкостью (антифриз), аккумуляторной батареей и комплектом ЗИП. Дополнительно можно заказать 3-х тонную емкость для дизтоплива. Стоимость техобслуживания составляет 20,44 тыс. тенге (3,5 тыс. руб.) за 1000 часов без учета дизтоплива. Требуется качественное топливо. Цена на дизтопливо согласно онлайн информации 235 тенге за литр (цены на 1 июня 2021 г.). Заправка бака 90 л или 135 л в сутки, что составит $135 \times 365 \times 235 = 11579625$ тенге на дизтопливо в год (таблица 1). Заправка хватает на 16 часов. В сутки генератору необходимо 135 литров, в год 49275 литров, или 11 млн. 579 тыс. тенге.

При таком ежедневном потреблении крестьянскому хозяйству необходимо приобретать бензовоз и включить в штат моториста и водителя бензовоза.

В [10] приводятся цены и технические характеристики бензиновых генераторов. Сводные данные сведены в таблицы 1 и 2.

В статье [11] дизельная станция в Красноярске работает в сутки 5 часов летом и 10 часов в холодное время года из-за дороговизны дизтоплива и трудности его доставки. Износ станции составляет 80–90 %.

На рисунке 4 приведены данные бензиновых и дизельных генераторов с паспортным и с приведенным к одному году (8760 час) моторесурсом.

Ветросолнечная система электроснабжения с резервным бензоэлектрогенератором (рисунках 3 и 4) позволяет обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные потребители при слабом ветровом потенциале на данной территории. При снижении ветра ниже момента трогания ветроколеса электрогенератор не вырабатывает энергию. При снижении скорости ветра ниже номинальной скорости генератора мощность генератора падает в кубической зависимости. Если объект сельского хозяйства является объектом первой категории в этом случае нужен бензиновый или дизельный генератор, который должен автоматически запускаться, выйти

в номинальный режим, подключиться через устройство автоматического включения резерва (АВР). При снижении скорости ветра также возможен запуск дизель-генератора, при этом если ветро- и дизель генераторы (ВГ и ДГ) будут работать параллельно, то нужны дополнительно блок синхронизации напряжения с ветроустановки с напряжением дизель-генератора. То есть нужно использовать ведомый сетью инвертор. Стоимость оборудования при ветродизельной схеме будет выше.

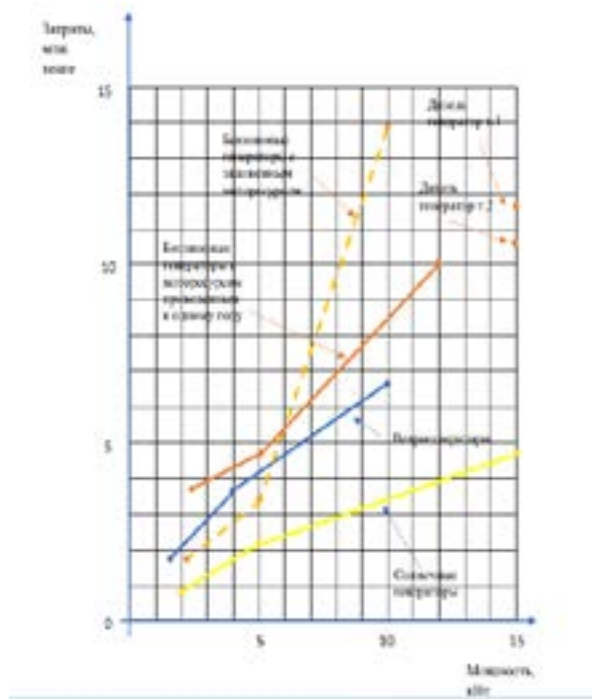


Рисунок 4 – Данные бензиновых и дизельных генераторов с паспортным и с приведенным к одному году (8760 час) моторесурсом

В чисто ветровой установке можно использовать более простой автономный инвертор.

На рисунке 5 представлена предлагаемая авторами ветросолнечная система автономного электроснабжения с расширенными функциональными возможностями.

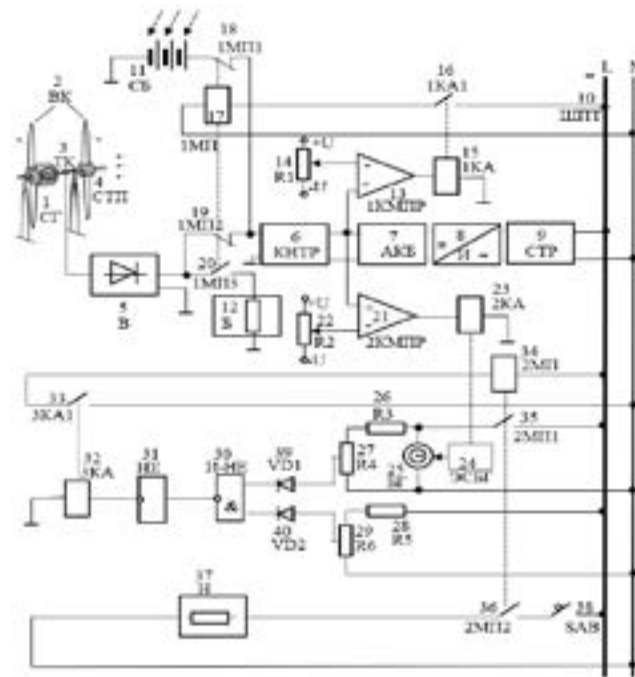


Рисунок 5 – Ветросолнечная система автономного электроснабжения с расширенными функциональными возможностями

Ветросолнечная система автономного электроснабжения обладает принципиально новыми признаками и функциональными возможностями, улучшенными по сравнению с известными [12–14].

Сущность предлагаемого решения [15] состоит в расширении функциональных возможностей, повышении эксплуатационных свойств и надежности за счет изменения архитектуры схемы, существенного снижения количества использованных элементов и блоков, введения новых блоков и связей, обеспечивающих новые функциональные возможности, такие как автоматизация работы устройства, получение свойств защиты от аварийных токов и предотвращения несинхронных режимов генераторов также сопровождающихся аварийными токами.

В ходе работы была спроектирована и выполнена лабораторная установка ветровой электростанции на которой были проведены эксперименты. В ветровой части установки были получены характеристики, представленные на

рисунках 6, 7 и 8. На рисунке 6 представлена ветроустановка и характеристика генерируемого напряжения от скорости вращения ветроустановки.



Рисунок 6 – Лабораторный образец ветроустановки со встречно вращающимися ветроколесами в ходе испытаний в реальных условиях и характеристика генерируемого напряжения от скорости вращения ветроустановки $U = f(v)$ снималась при скоростях ветра 2, 3, 4 м/с

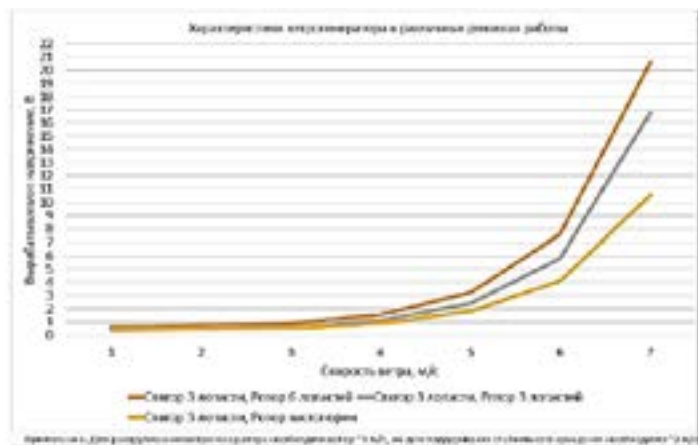


Рисунок 7 – Характеристика генерируемого напряжения от скорости вращения ветроустановки $U = f(v)$ при скоростях ветра 1-10 м/с

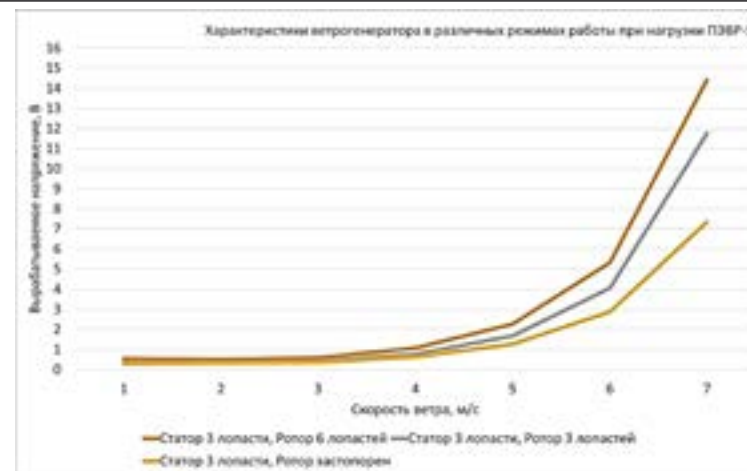


Рисунок 8 – Характеристика генерируемого напряжения от скорости вращения ветроустановки $U = f(v)$ при скоростях ветра 1–10 м/с при нагрузке 51 Ом в виде ПЭВР-50.

Проанализировав полученные характеристики приведенные на рисунках 7 и 8 имеем следующее. При одинаковой нагрузке 51 Ом напряжения на выходе составляют 7 В при одноколесном режиме - желтая нижняя линия, 12 В – при двухколесном режиме с двумя ветроколесами (средняя синяя кривая, на статоре и роторе по 3 лопасти) и 14,5 В – при двухколесном режиме с двумя ветроколесами (верхняя коричневая кривая, на статоре три и роторе по шесть лопастей). Эффективность ветроустановки соответственно возрастает в 1,71 раза и в 2,07 раза в различных исполнениях при скорости ветра 7 м/с.

Материалы и методы исследования. Материалом исследования являются системы автономного электроснабжения с акцентированием внимания на специальные способы получения повышенной относительной скорости вращения ветрогенерирующих установок. Кроме того, авторами проведены экспериментальные исследования, изложенные в научной статье.

Методы исследования и анализа применяемые в статье – сравнение, эксперимент, измерение.

Результаты и обсуждение

В статье показывается, что цена генерируемой возобновляемыми источниками энергии с каждым годом снижается и становится сравнимой с электроэнергией, генерируемой традиционными электростанциями.

Указывается, что на настоящем этапе без серьезного государственного вмешательства для небольших потребителей целесообразно использовать небольшие 3-5 кВт ветросолнечные системы электроснабжения, стоимостью 3,5-5 млн. тенге, ветровой станции мощностью 10 кВт – стоимостью 7,5 млн. тенге. Проведена оценка возможности создания умных сетей на базе автономных электростанций на базе ВИЭ, которая показала, что создание умных сетей для существующей плотности населения в Казахстане – 6,3 чел/км² не целесообразно ввиду технической сложности и экономической убыточности. Для проектирования ветровых и других электростанций были запрошены в управлении сельского хозяйства Павлодарской области были запрошены нагрузки автономных действующих потребителей, питающихся от ВИА. На основе этих данных был выведен приведенный в статье среднестатистический графики суточных и годовых потребностей в электроэнергии индивидуальных предпринимателей. Графики учитывают периоды лактации молока у КРС, динамику изменения, сезонные всплески электропотребления для поливного земледелия, суточные изменения электропотребления и другие факторы. По результатам анализа данных электропотребления были предложены рекомендации управлению сельского хозяйства Павлодарской области, Управлению предпринимательства и индустриально-инновационного развития Павлодарской области, международному научно-техническому совету по внедрению возобновляемой энергии (Астана), ТОО «Эл-Нур-Сервис» (Павлодарский филиал) и ряду предприятий Казахстана специализирующихся в области ВИЭ по мощностям ветровых установок, технические данные по конструкциям и архитектуры ВИА, принципиальные схемы. Проведен анализ применения ветровых, бензиновых автономных электростанций. Выявлена нерентабельность применения бензиновых и дизельных генераторов электрической энергии. Спроектирована и выполнена лабораторная установка ветровой электростанции, сняты технические характеристики, которые показали эффективность.

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

1. Электроснабжение удаленных населенных пунктов при малой мощности целесообразно использовать только автономное электроснабжение с применением возобновляемых источников энергии.

2. Ветроэнергетика является одним из перспективных экологически чистых источников энергии.

3 Анализ технической литературы и патентная проработка показала, что в направлении совершенствования ветроколес имеется масса разработок, но большинство из них решая конкретную задачу, тем не менее обладают рядом характеристик, не позволяющих эффективно применять их для климатических условий Павлодара с ветрами изменяющихся от штилевого до штормового.

4 Разработанная система электроснабжения расширяет круг функциональных возможностей, позволяет существенно повысить надежность энергетической системы и обеспечить гарантированный срок эксплуатации.

5 Генераторы с встречным вращением лопастей действительно эффективны по сравнению с одноколесными ветрогенераторами. При изменениях скорости ветра от 2 до 10 м/с эффективность генерации для генераторов с двумя встречно вращающимися ветроколесами с тремя лопастями на каждом колесе изменяется от 1,11 до 1,6, для ветроколес с тремя и 6-тью лопастями – 1,66-1,96 м/с.

6 По опытным данным при одинаковой нагрузке напряжение на выходе одноколесного ветрогенератора 7 В. При двухколесном режиме с тремя лопастями ветроколес и на статоре, и на роторе напряжение составило 12 В и 14 В при двухколесном с тремя и шестью лопастями на статоре и роторе. Эффективность ветроустановки возрастает по сравнению с известными одноколесными ВК ветрогенераторами соответственно в 1,71 раза и в 2,07 раза при скорости ветра 7 м/с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Хорольский, К., Осьминкин, П.** Возможности использования солнечно-ветровых электростанций на территории Северного Казахстана и Оренбургской области. [Электронный ресурс]. – URL: <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tekhnicheskoe-tvorchestvo/2014/04/15/vozmozhnosti-ispolzovaniya-solnechno-vetrovykh>.

2 **Банцикин, Алексей.** Тарифы на «зеленую» электроэнергию в Казахстане за шесть лет снизились сразу на 58%. 26 июля 2021, 12:06. [Электронный ресурс]. – URL: // <https://sknews.kz/news/view/tarify-na-zelenuyu-elektroenergiyu-v-kazahstane-za-shesty-let-snizilis-srazu-na-58>

3 Нужды Казахстана в электроэнергии увеличиваются: потребление выросло на 2 % за год. [Текст] // <https://kapital.kz/economic/83670/nuzhdy->

kazakhstan-v-elektroenergii-uvelichivayut-sya-potrebleniye-vyroslo-na-2-za-god.html.

4 **Оразбекова, А. К., Лукутин, Б. В.** Состояние электроснабжения удаленных объектов агропромышленного комплекса в регионах Казахстана и перспектива применения ВИЭ. [Текст] // Журнал «Инновации в науке», № 11, 2018, с. 10–13.

5 Применение бензиновых генераторов. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.generatora.net/articles/238/>.

6 Потребление бензина генераторами. [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.kz/search/?clid=2285101&text=gjnht%2Cktybt%20%2Ctybyf%20%2Cbybydsvb%20utythfnjhfvb&rdrnd>

7 Цены он лайн на бензин в РК. [Электронный ресурс]. – URL: <https://biznesinfo.kz/prices/gasoline>.

8 **Лукутин, Б. В., Муравлев, И. О., Плотников, И. А.** Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников [Текст] // – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015, с. 45–47. – 128 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/i/IOM/liter/Tab2/Lukutin_S_elsnab.pdf

9 **Прохоров, А. М.** Моторесурс // Большая советская энциклопедия / А.М. Прохоров. – 3-е издание. – Большая советская энциклопедия, 1974. – Т.17. – С.63. – 616 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%80%D1%81>.

10 Цены и технические характеристики бензиновых генераторов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.svarochnye-apparaty.kz/catalog.html?itemid=4387>.

11 Разработка рекомендаций по построению энергоэффективных ветро-дизельных электроэнергетических систем. [Электронный ресурс]. – URL: <http://refleader.ru/jgeujgotrjgejge.html>

12 **Аверин, А. А., Чернов, Н. А., Шелубаев, М. В., Шерьязов, С. К.** Система для автономного электроснабжения потребителей. Патент RU 2382900 F03D 9/02, H02K 7/18, H02J 7/34. 27.02.2010. Б.и. № 6

13 **Никитенко, Г. В., Коноплев, Е. В., Салпагаров, В. К.** и др. Ветросолнечная установка автономного электроснабжения. Патент RU 2680642C1 F03D 9/00, F03D 9/11, F03D 7/00, H02S 10/12, 25.02.2019. Бюл. № 6.

14 **Никитенко, Г. В.** и др. Синхронный генератор с двухконтурной магнитной системой». патент RU 2642442 25.01.2018, Бюл. № 3.

15 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б.** Ветрогенераторы со встречно вращающимися ветроколесами. Патент РК № 31254. 15.06.2016, бюл. № 6 (72).

REFERENCES

1 **Khorolsky, K., Osminkin, P.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya solnechno-ventrovyyh elektrostanciy na territorii Severnogo Kazakhstana i Orenburgskoy oblasti [Possibilities of using solar-wind power plants on the territory of Northern Kazakhstan and the Orenburg region.] [Electronic resource]. – URL: <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tehnicheskoe-tvorchestvo/2014/04/15/vozmozhnosti-ispolzovaniya-solnechno-ventrovyykh>.

2 Bancikin, Aleksej. Tarify na «zelenuyu» elektroenergiyu v Kazahstane za šest' let snizilis' srazu na 58 %. 26 iyulya 2021, 12:06. [Tariffs for “green” electricity in Kazakhstan have decreased by 58% over six years. July 26, 2021, 12:06 pm.]. [Electronic resource]. – URL: <https://sknews.kz/news/view/tarify-na-zelenuyu-elektroenergiyu-v-kazahstane-za-shesty-let-snizilisy-srazu-na-58>.

3 Kazakhstan's electricity needs are increasing: consumption has increased by 2 % over the year. [Electronic resource]. – URL: <https://kapital.kz/economic/83670/nuzhdy-kazahstana-v-elektroenergii-uvelichivayut-sya-potrebleniye-vyroslo-na-2-za-god.html>.

4 **Orazbekova, A. K., Lukutin, B. V.** The state of power supply of remote objects of the agro-industrial complex in the regions of Kazakhstan and the prospect of RES application. [Text] // Journal «Innovations in Science», No. 11, 2018, P. 10–13

5 The use of gasoline generators. [Electronic resource]. – URL: <http://www.generatora.net/articles/238/>.

6 Gasoline consumption by generators. [Electronic resource]. Link–URL : <https://yandex.kz/search/?clid=2285101&text=gjnht%2Cktybt%20%2Ctybyf%20%2Cbybydsvb%20utythfnjhfvb&rdrnd>

7 Online prices for gasoline in the Republic of Kazakhstan. [Text] // <https://biznesinfo.kz/prices/gasoline>.

8 **Lukutin, B. V., Muravlev, I. O., Plotnikov, I. A.** Sistemy elektrosnabzheniya s vetrovymi i solnechnymi elektrostanciyami: uchebnoe posobie [Power supply systems with wind and solar power plants: textbook] / B.V. Lukutin, I.O. Muravlev, I.A. Plotnikov [Text] // – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2015, pp. 45–47. –128 p. [Electronic resource]. – URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/i/IOM/liter/Tab2/Lukutin_S_elsnab.pdf

9 Prokhorov, A. M. Motoresurs [Motor Resource] // Bol'shaya sovetskaya enciklopediya / A.M. Prohorov. – 3-e izdanie.– Bol'shaya sovetskaya enciklopediya, 1974.– T.17.– S.63.– 616 s. [The Great Soviet Encyclopedia / A.M. Prokhorov. – 3rd edition.– The Great Soviet Encyclopedia, 1974.–Vol.17. – p.63.– 616 p.]/ . [Electronic resource]. – URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%80%D1%81>

10 Ceny i tekhnicheskie karakteristiki benzinovyh generatorov. [Prices and technical characteristics of gasoline generators]. Elektronnyj resurs. [Electronic resource]. – URL : <https://www.svarochnye-apparaty.kz/catalog.html?itemid=4387>.

11 Razrabotka rekomendacij po postroeniyu energoeffektivnyh vetrodizel'nyh elektroenergeticheskikh sistem. [Development of recommendations for the construction of energy-efficient wind-diesel electric power systems]. [Electronic resource]. – URL: <http://refleader.ru/jgeujgotrjgejge.html/>.

12 Averin, A. A., Chernov, N. A., Shelubaev, M. V., Sheryazov, S. K. Sistema dlya avtonomnogo elektrosnabzheniya potrebitel'ej. Patent RU 2382900 F03D 9/02, N02K 7/18, H02J 7/34. 27.02.2010. [System for autonomous power supply of consumers. Patent RU 2382900 F03D 9/02, H02K 7/18, H02J 7/34. 27.02.2010] [Text] // Bulletin of inventions No. 6, 27.02.2010.

13 Nikitenko, G. V., Konoplev, E. V., Salpagarov, V. K. Vetrosolnechnaya ustanovka avtonomnogo elektrosnabzheniya. Patent RU 2680642C1 F03D 9/00, F03D 9/11, F03D 7/00, H02S 10/12/

[Wind-solar installation of autonomous power supply. Patent RU 2680642C1 F03D 9/00, F03D 9/11, F03D 7/00, H02S 10/12]. [Text] // Byul. No. 3.

14 Nikitenko, G. V. et al. Sinhronnyj generator s dvuhkonturnoj magnitnoj sistemoj», patent RU 2642442 25.01.2018, Byul. № 3. [Synchronous generator with a two-circuit magnetic system, patent RU 2642442 25.01.2018], Byul. No. 3. 25.01.2018

15 Shapkenov, B. K., Kaidar, A. B. Wind generators with counter-rotating wind wheels. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 31254. [Vetrogeneratoriy so vstrechno vrashchayushchimisya vetrokolesami. Patent RK № 31254]. [Text] // 15.06.2016, byul. № 6 (72).

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*С. С. Исенов¹, А. Б. Кайдар², Б. Қ. Шапкенов³, С. Қ. Шерязов⁴

^{1,2}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;

³Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

⁴Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті,

Ресей Федерациясы, Челябинск қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ АВТОНОМИЯЛЫ ЭЛЕКТР ҚАМТАМАСЫЗЫ ЖҮЙЕСІНДЕ

Мақаланың материалы автономды электрмен жабдықтау жүйесін дамытуға арналған Ауыл шаруашылығы тұтынушыларының электр энергиясын тұтыну ерекшелігі берілген. Жел және күн электр станциясы және бензин электр генераторы негізіндегі гибриді электрмен жабдықтау жүйесінің құрылымдық схемасы келтірілген. Бензинді және дизельдік генераторларды пайдалануға талдау жасалды, бұл жанармайдың қымбаттығына және мотор ресурстарының төмен болуына байланысты оларды пайдалану аз қуатты тұтынушылар үшін тиімсіз екенін көрсетеді.

Мақалада жел турбинасының конструкциялары мақалада келтірілгендерге ұқсас, бірақ оларды іс жүзінде пайдалануды қиындататын бірқатар кемшіліктері бар бірнеше белгілі автономды электрмен жабдықтау жүйелеріне талдау жасалған. Мақаланың авторлары бұрын әзірлеген жел генераторының нұсқасы қарастырылады, оның екі қарсы айналмалы жел дөңгелегі бар, белгілі жел генераторларынан артықшылығы бар. Әрі қарай, авторлардың әзірлемелері негізінде жел генераторының жобасы және жел генераторын басқарудың схемалық диаграммасы мен автономды электрмен жабдықтау схемасы ұсынылады, олар жел турбиналарының да, автономды электрмен жабдықтау схемаларының да одан әрі дамуы болып табылады.

Жел генераторының берілген конструкциясы, автономды электрмен жабдықтау жүйесін басқарудың схемалық схемасы, оның ішінде жел генераторын автоматтандыру электр энергиясын өндіруді айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

Жел турбинасы мен электрмен жабдықтау жүйесінің жұмыс істеу алгоритмі, арнайы конструкциядағы әзірленген жел генераторының тәжірибелік зерттеулерінің нәтижелері, атап айтқанда, жел генераторының бос және төмен жұмыс кезіндегі

шығысындағы қернеудің тәуелділігі ұсынылған. желдің әртүрлі жылдамдықтарында жүктеме.

Ұсынылып отырған күн және жел энергиясын пайдаланатын автономды электрмен жабдықтау жүйесін, атап айтқанда, ауылдық елді мекендер, саяжайлар, демалыс ауылдары, жайылымдық егіншілік кешендері, суармалы егіншілік және басқа да шаруашылықтар, әртүрлі мақсаттағы шағын кәсіпорындар, шалғайдағы мұнай-газ кен орындары үшін пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: Жаңғыртылатын энергия көздері, жел энергиясы, электр энергиясын өндіру, автономды электрмен жабдықтау, жел генераторы, жел турбиналары.

*S. S. Issenov¹, A. B. Kaidar², B. K. Shapkenov³, S. K. Sheryazov⁴

¹S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³South Ural State Agrarian University, Russian Federation, Chelyabinsk.

Material received on 15.09.22.

WIND POWER RESEARCH IN THE SYSTEM OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY

The material of the article is devoted to the development of an autonomous power supply system. The specificity of electrical consumption of agricultural consumers is given. A block diagram of a hybrid power supply system based on a wind and solar power plant and a gasoline power generator is given. An analysis was made of the use of gasoline and diesel generators, which shows that their use is unprofitable for low-power consumers, due to the high cost of fuel and low motor resources.

The article provides an analysis of several well-known autonomous power supply systems with wind turbine designs similar to those given in the article, but with a number of disadvantages that make it difficult to use them in practice. A variant of a wind generator, previously developed by the authors of the article, is considered, which has two counter-rotating wind wheels, which has advantages over known wind generators. Further, a design of a wind generator based on the development of the authors and a schematic diagram of the control of a wind generator and an autonomous power supply scheme are proposed,

which are a further development of both wind turbines and autonomous power supply schemes.

The given design of the wind generator, the schematic diagram of the control of the autonomous power supply system, including the automation of the wind generator, can significantly increase the generation of electricity.

The algorithm of operation of the wind turbine and the power supply system is presented, the results of experimental studies of the developed wind turbine of a special design, in particular, the dependence of the voltage at the output of the wind generator at idle and under load at various wind speeds.

The proposed system of autonomous power supply using solar and wind energy can be used, in particular, for rural settlements, cottages, holiday villages, pasture farming complexes, irrigated agriculture and other farms, small enterprises for various purposes, remote oil and gas fields.

Keywords: Renewable energy sources, wind energy, electricity generation, autonomous power supply, wind generator, wind turbines.

<https://doi.org/10.48081/GZCS8909>

***Р. М. Искаков¹, Г. К. Кубентаева², Р. Т. Қасым³**

А. М. Акаев⁴

^{1,2,3}Казахский аграрный технический университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

⁴Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан г. Усть-Каменогорск

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ СРЕДЫ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛКИ

В статье рассматриваются исследования по систематизации характерных особенностей электронагрева при проведении процесса конвективной сушки. На основании разработанной схемы уровня иерархии системного анализа электрического нагрева выявлено, что повышение эффективности электронагрева можно достигнуть за счет совершенствования конструкции нагревателя и оптимального режима нагрева воздуха с уменьшением времени теплоотдачи и охвата теплового контакта активной зоны с нагреваемой газовой средой. Описывается запатентованная конструкция устройства для производства кормовой муки животного происхождения (патент Республики Казахстан № 7276), позволяющая осуществлять конвективную сушку с применением электронагревателя и воздухоподогревателя для распределения горячего воздуха. При обзоре научной информации выявлено, что в исследованиях пристальное внимание обращается на уровни температуры сушилки с электрическим нагревателем, энергоэффективность сушилки, энергосберегающий метод, инфракрасный нагреватель, мощность нагревателя, что подтверждаются эмпирическими данными, зависимостями, схемами, объясняющими и обосновывающими действия нагревателей. При этом многие исследования ученых опираются на использование излучающих и конвективных секций нагревателей прямого нагрева, показания средней температуры воздуха вдоль сечения нагревателя, равномерный нагрев воздуха с поверхности обогревателя, проволоч сопротивления и кремний-углеродных стержней, перегородок.

Ключевые слова: электрический нагреватель, сушка, конвекция, теплоотдача, температура.

Введение

Сушка является одним из важных и энергозатратных процессов. Основная цель процесса сушки состоит в том, чтобы производить высококачественную продукцию. Например, сушка как финальная часть производства кормов требует большого количества тепловой энергии. Как известно в большинстве технологических нагревателей тепло вырабатывается путем прямого преобразования электрической энергии. Многие технические факторы влияют на эффективность электронагревателей, в т.ч. электричество, используемое для нагрева. Электрический нагреватель воздуха является одним из важнейших устройств для многих отраслей промышленности и широко используется в сушке, выпечке и в других отраслях промышленности. Во многих отраслях промышленности для нагревания воздуха до очень высокого теплового потока используется сжигание газов. При этом нагрев воздуха до очень высокого теплового потока иногда сопровождается ухудшением качества воздуха. Поэтому достаточно эффективной альтернативой для нагрева воздуха в сушильном оборудовании может быть электрический нагреватель, направленный для достижения желаемой температуры воздуха.

Материалы и методы

Фундаментальные положения теплотехники и электротехники, конвективных сушильных установок, научные публикации по техническим наукам, патенты на изобретения и полезные модели, конструкции, системный и сравнительный анализ.

Результаты и обсуждения

Одной из составляющих конструктивных решений при компоновке электрического нагревателя теплопередающей среды, являющегося важным звеном в осуществлении тепловой сушки, а также установления всевозможных аспектов, воздействующих на процесс нагрева тепла при проведении сушки является системный анализ [1]. Внедрение системы вентиляции с переменным регулированием расхода воздуха может сделать приемлемым диапазон изменения температуры во время работы электрического нагревателя. Допускается подача воздуха в электронагреватель с температурой 20 °С и начальной скоростью 1 м/с от входа в канал, где возможен нагрев воздуха до высоких температур, необходимых для сушки. Эффективность процесса электрического нагрева газа для осуществления сушки определяется принципом действия и особенностями конструкции электронагревателей. Поэтому необходимым считается обобщение электрического нагрева при проведении сушки.

Важным показателем электрического нагрева при проведении сушки кормовой муки, являются конструктивные особенности электрического нагревателя (КОЭН), определяющиеся \bar{I} уровнем иерархии системного анализа. В структурной схеме электрического нагрева при проведении сушки кормовой муки, представленной на рисунке 1, следует учитывать активную зону электронагревателя (АЗЭ), которая должна полностью соприкасаться с нагреваемой средой (НС); удельную поверхностную мощность электронагревателя (УПМЭ) с мощностью (М), приходящейся на 1 см² активной поверхности; работу, необходимую для регулярного отвода тепла с нагреваемой поверхности (РОТсНП), обеспечения теплового контакта оболочки электронагревателя с нагреваемой средой (ОТКОЭсНС) путем конвекции, теплопроводности и излучения (КТиИ) с преобразованием электроэнергии в теплоэнергию (ПЭЭвТЭ), конфигурации и конструктивного исполнения электронагревателей (КиКИ); работу, необходимую для исключения попадания влаги на контактные выводы и внутрь электронагревателя (ИПВКВиВЭ); естественные или искусственные потоки холодного воздуха, приносимые для продувки контактных выводов (ЕиИПХВдПКВ). Представленные действия и явления фокусируют ориентацию полей скоростей, давления, температуры (ФОПСДиТ), и сочетают ряд геометрических и электротехнических показателей (РГиЭП).

Безотказность эксплуатации электронагревателя зависит от величины поверхностной нагрузки (ВПН), заметно влияющей на теплоъем. Нагрев происходит в среде с движущимся с определенной скоростью воздухом (СДОСВ), в спокойной газовой среде с установившимся режимом (СГСсУР), горячим (рабочим) состоянием электронагревателя (ГСЭ), определенной рабочей температурой в условиях нормальной теплоотдачи и эксплуатации (РТвУНТиЭ). Конструкция предусматривает монтаж электронагревателей к нагреваемому устройству с помощью болтов, шпилек, хомутов, зажимов, стяжек, кронштейнов, скоб. На основании осуществленного системного анализа электрического нагрева при проведении сушки кормовой муки выявлено, что важными показателями, способствующими повышению эффективности электрического нагрева следует считать:

- уменьшение времени теплоотдачи вместе с установлением оптимального режима электрического нагрева;

- совершенствование конструкции электронагревателя путем охвата теплового контакта активной зоны с нагреваемой газовой средой, что позволит интенсифицировать процесс распространения температур и тепловых полей.

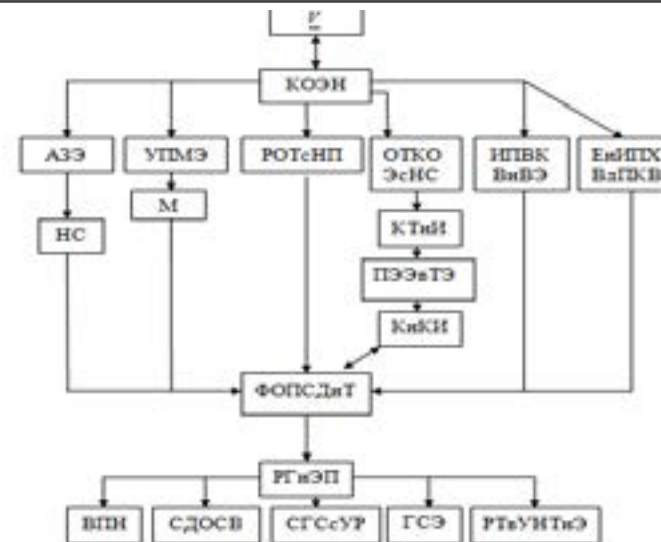
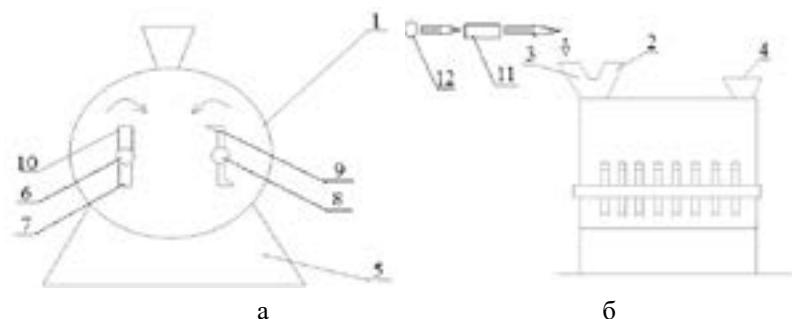


Рисунок 1 – Структурная схема \bar{I} уровня иерархии системного анализа электрического нагрева при проведении сушки кормовой муки

В результате проведения исследований электронагревателя разработана установка для производства кормовой муки (рисунок 2). Сушильный агент в виде горячего воздуха конвективно подается в корпус устройства для производства кормовой муки животного происхождения от электрического нагревателя посредством воздухоудвки для распределения горячего воздуха. Оригинальность устройства подтверждена патентом [2]. В состав установки входит термостат для регулирования температуры, датчик температуры для измерения температуры от нагревателя, регулятор скорости, электродвигатель для передачи мощности.

Следует отметить, что многие исследования ученых сосредоточены на максимальном повышении эффективности электрического нагревателя. Например, в работе [3] исследованы энергетические характеристики двух типов сушилок: электрического нагревателя и теплового насоса. При этом измерено и анализировано содержание влаги, время сушки, общее энергопотребление, скорость извлечения влаги. Установлено, что по мере повышения температуры в сушильной камере время сушки сокращается, но эффективность использования энергии снижается. Для сушилки с электрическим нагревателем влияние температуры камеры на время сушки является значительным, но менее значительным на

эффективность использования энергии. Уровни температуры мало влияют на производительность сушилки с электрическим нагревателем.



а – вид спереди; б – вид сбоку; 1–корпус; 2 – патрубок для подачи сырья; 3–патрубок для подвода сушильного агента; 4–патрубок для выхода кормовой муки животного происхождения; 5- стойка-рама; 6–вал; 7–ударные элементы; 8–вал; 9–лопастные элементы; 10–стержни; 11–электронагреватель; 12–воздуходувка

Рисунок 2 – Схема установки для производства кормовой муки

В статье [4] анализируется механизм сушки для повышения энергоэффективности электрической сушилки. Для этого экспериментально получены характерные кривые сушки, такие как температура, относительная влажность, скорость испарения, коэффициент массообмена, кривые остаточной влажности. На основе экспериментальных результатов и анализа механизма сушки систематически представлено влияние мощности нагревателя и тепловых потерь на энергопотребление электрической сушилки. Эти результаты демонстрируют возможность управления потерями тепла в нагревателе.

В работе [5] представлена модель электрической инфракрасной сушилки, включающая лучистый теплообмен между различными частями нагревателя, а также теплопроводность в материале отражателя и конвективное охлаждение поверхностей. Расчеты теплопередачи объединяются с энергетическими балансами для получения системы уравнений, моделирующей поведение электрической сушилки.

В работе [6] показатели энергопотребления в сушильном барабане замкнутого цикла с конденсатором для сушки оценивались в зависимости от мощности нагревателя, расхода сушильного воздуха внутри сушилки и расхода охлаждающего воздуха. Установка состоит из барабана, конденсатора и электронагревателя для нагрева циркулирующего сушильного воздуха.

Испытания проводились при мощности нагрева от 1,9 кВт до 2,7 кВт, скорости потока воздуха для сушки от 60 м³/ч до 140 м³/ч и скорости потока охлаждающего воздуха 100 м³/ч до 240 м³/ч. Параметрические результаты показали, что большая мощность нагревателя приводит к сокращению времени сушки.

Бахадори и Вуталуру [7] изучили простые в использовании корреляции для проектирования излучающих и конвективных секций нагревателей прямого нагрева. В работе [8] экспериментально исследованы характеристики теплоотдачи жидкости, протекающей через высокотемпературную электрическую печь воздушного нагрева, нагреваемую проволоками сопротивления и кремний-углеродными стержнями.

В работе [9] изучалось усиление теплообмена в нагревателе (рисунок 3) с общей длиной нагревательной секции 0,9 м. Он состоит из 4 патронных нагревателей общей потребляемой мощностью 3 кВт. В нагревательной секции последовательно расположены пять полукруглых перегородок.



Рисунок 3 – Фото нагревателя [9]

На рисунке 4 показана средняя температура воздуха вдоль сечения нагревателя. Завихрение воздуха за счет дефлекторов обеспечивает равномерный нагрев воздуха с поверхности обогревателя. Тогда нагретый воздух проходит через длинную отстойную камеру к соплу диаметром 25,4 мм. Камера изолируется асбестовой тканью и нагревательной лентой для предотвращения потери тепла в окружающую среду от горячего воздуха.

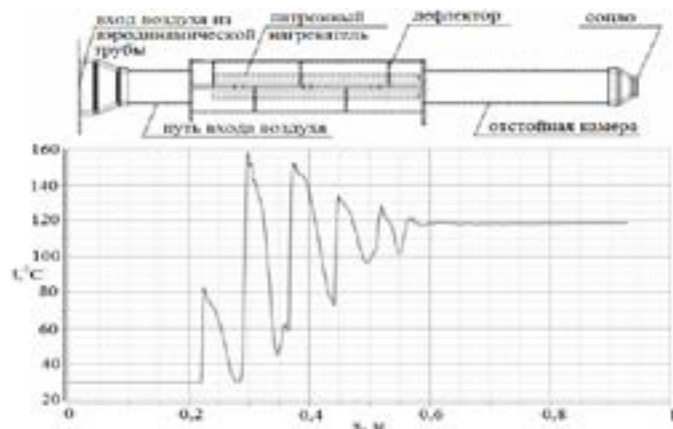


Рисунок 4 – Температура воздуха по сечению нагревателя [9]

Центральной частью нагревателя является независимый цилиндрический нагревательный элемент (рисунок 5), анализируемый в работе [10]. Этот элемент состоит из цилиндрического основания 1 и полого цилиндра с электрообогревом 2. Нагревательным элементом является никель-хромовая проволока, встроенная в цилиндрическую стенку. Инновационное решение нагревателя состоит из нескольких цилиндрических нагревательных элементов с различной электрической мощностью и внутренним диаметром в различном расположении.

В работе [11] представлен электронагреватель со спиральной перегородкой. Поверхности двух соседних окружностей перекрываются трехсекционными спиральными перегородками, не соприкасающимися в месте соединения с одним и тем же углом наклона, но разными трехмерными направлениями (рисунок 6, а). Общие узлы стержня и дистанционной трубки не могут зафиксировать две плотно прилегающие перегородки. Решение заключается в создании двух «петлей» с помощью наклонной перегородки на обоих углах изогнутой кромки и прямых краев для крепления спиральных перегородок тремя комплектами стержней и узлов дистанционных трубок (рисунок 6, б).

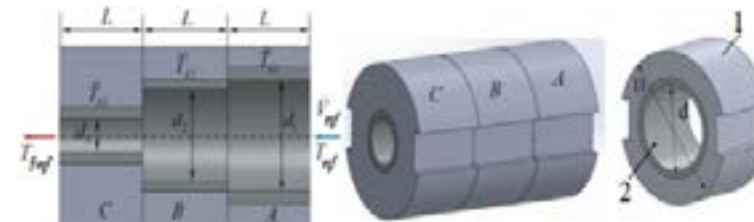


Рисунок 5 – Поточная конфигурация цилиндрических нагревательных элементов [10]

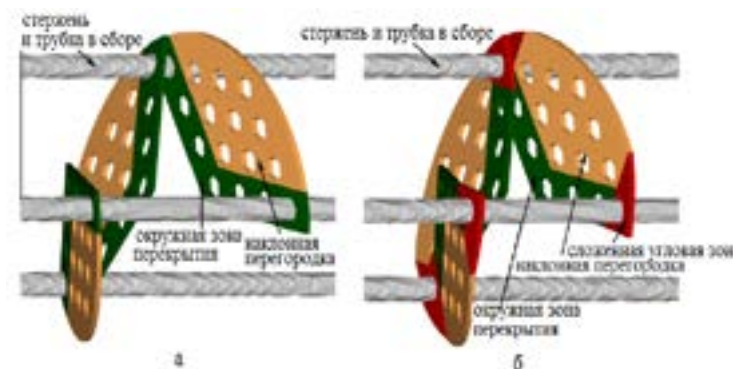


Рисунок 6 – Конфигурации соединения:

а – плоские перегородки и б – складчатые перегородки [11]

Модификация складчатой конструкции перегородки основана на окружности перекрывающейся трехсекционной спиральной перегородки для облегчения и упрощения спиральной перегородки, поддерживающей конфигурацию. Эта конфигурация также может уменьшить обратную утечку с меньшими треугольными вырезами на соединения соседних перегородок, чем плоская. Более того, это упрощает изготовление дистанционных трубок с перпендикулярными концами, чем наклонных.

Информация о финансировании

Данная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP09259673, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Выводы

Исходя из вышеизложенного следует, что эффективность работы электронагрева теплопередающей среды при сушке совершенствуется за счет

электронагревателей и зачастую зависит от режима электрического нагрева, времени теплоотдачи, конфигурации конструкции электронагревателя, теплового контакта активной зоны с нагреваемой газовой средой путем конвекции, теплопроводности и излучения, нагревательных элементов, мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Кафаров, В. В., Дорохов, И. Н.** Системный анализ процессов химической технологии: основы стратегии. Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 499 с.
- 2 Пат. 7276 Республика Казахстан, МПК А 23 К 1/00, А 01 F 29/00. Устройство для производства кормовой муки животного происхождения [Текст] / Исаков Р.М.; заявитель и патентообладатель Исаков Р.М. – № 2021/1174.2; заявл. 29.12.21; опубл. 08.07.22, Бюл. № 27. – 6 с.: ил.
- 3 **Park, S. T.** Energy Performance Analysis of Electric Heater and Heat Pump Food Dryers // «[Journal of the Korean Society for Geothermal and Hydrothermal Energy](#)», 2015; 11(4). – P. – 6.
- 4 **Kim, J. H., Jang, S. P., Choi, C. J.; Hwang, K. S., Lee, H. J.** Thermal Characteristics of an Electric Clothes Dryer // «Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers», 2009, 33 (8). – P. 629-634.
- 5 **Pettersson, M., Stenstrom, S.** Modelling of an Electric IR Heater at Transient and Steady State Conditions Part II: Modelling a Paper Dryer // «International Journal of Heat and Mass Transfer», 2000; 43(7). – P. 1223.
- 6 **Do, Y.; Kim, M., Kim, T., Jeong, S., Park, S.; Woo, S.; Kwon, Y.; Jung, Y., Lee, J., Ahn, Y.** An Experimental Study on the Performance of a Condensing Tumbler Dryer with an Air-to-Air Heat Exchanger // «Korean Journal of Chemical Engineering», 2013; 30(6). – P. 1195–1200.
- 7 **Bahadori, A., Vuthaluru, H.B.** Novel Predictive Tools for Design of Radiant and Convective Sections of Direct Fired Heaters Appl. Energy, 87, 2010. – P. 2194–2202.
- 8 **Wang, Y., Bai, F., Jian, Y., Xu, C., Wang, Z.** Heat Transfer Enhancement of an Electric Air Heating Furnace by Inserting Silicon Carbide Ceramic Foam Panels Exp. Therm. Fluid Sci., 38, 2012. – P. 127–133.
- 9 **Rezwan, A.A., Hossain, S., Rahman, S.M.A.; Islam, M.A.** Heat Transfer Enhancement in an Air Process Heater Using Semi-circular Hollow Baffles. 5th Bangladesh-Society-of-Mechanical-Engineers International Conference on Thermal Engineering. Dhaka, Bangladesh, 2013. – 56 – P. 357.

10 **Fikret, A.** The Non-Dimensional Analysis of Nanofluid Irreversibility Within Novel Adaptive Process Electric Heaters // «Applied Thermal Engineering», 2019. – 152. – P. 13–23.

11 **Wang, M. C., Chen, Y. P., Wu, J. F., Dong, C.** Heat Transfer Enhancement of Folded Helical Baffle Electric Heaters With One-Plus-Two U–Tube Units // «Applied Thermal Engineering», 2016. – 102. – P. 586–595.

REFERENCES

- 1 **Kafarov, V. V., Dorokhov, I. N.** Sistemnyy analiz protsessov khimicheskoy tekhnologii: osnovy strategii [System analysis of chemical engineering processes: basics of strategy]. Monograph. – 2nd ed., revised. and additional – M.: Yurayt Publishing House, 2018. – 499 p.
- 2 Pat. 7276 Republic of Kazakhstan, IPC A 23 K 1/00, A 01 F 29/00. Ustroystvo dlya proizvodstva kormovoy muki zhiivotnogo proiskhozhdeniya [Device for the production of feed flour of animal origin] / Isakov R.M.; applicant and patent holder Isakov R.M. – No. 2021/1174.2; dec. 12/29/21; publ. 07/08/22, Bull. No. 27.– 6 p.
- 3 **Park, S. T.** Energy Performance Analysis of Electric Heater and Heat Pump Food Dryers // «Journal of the Korean Society for Geothermal and Hydrothermal Energy», 2015; 11(4). – P. 1–6.
- 4 **Kim, J. H., Jang, S. P.; Choi, C. J., Hwang, K. S., Lee, H.-J.** Thermal Characteristics of an Electric Clothes Dryer // «Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers», 2009, 33(8). – P. 629–634.
- 5 **Pettersson, M., Stenstrom, S.** Modelling of an electric IR heater at transient and steady state conditions Part II: modelling a paper dryer // «International Journal of Heat and Mass Transfer», 2000; 43(7). – P. 1223.
- 6 **Do, Y., Kim, M., Kim, T., Jeong, S., Park, S., Woo, S., Kwon, Y., Jung, Y., Lee, J., Ahn, Y.** An Experimental Study on the Performance of a Condensing Tumbler Dryer with an Air-to-Air Heat Exchanger // «Korean Journal of Chemical Engineering», 2013; 30(6). – P. 1195–1200.
- 7 **Bahadori, A., Vuthaluru, H.B.** Novel Predictive Tools for Design of Radiant and Convective Sections of Direct Fired Heaters Appl. Energy, 87, 2010. – P. 2194–2202.
- 8 **Wang, Y., Bai, F., Jian, Y., Xu, C., Wang, Z.** Heat Transfer Enhancement of an Electric Air Heating Furnace by Inserting Silicon Carbide Ceramic Foam Panels Exp. Therm. Fluid Sci., 38, 2012. – P. 127–133.
- 9 **Rezwan, A.A., Hossain, S., Rahman, S.M.A.; Islam, M.A.** Heat Transfer Enhancement in an Air Process Heater Using Semi-circular Hollow Baffles.

5th Bangladesh-Society-of-Mechanical-Engineers International Conference on Thermal Engineering, Dhaka, Bangladesh, 56, 2013. – P. 357.

10 **Fikret, A.** The Non-Dimensional Analysis of Nanofluid Irreversibility Within Novel Adaptive Process Electric Heaters // «Applied Thermal Engineering», 2019; 152. – P. 13–23.

11 **Wang, M. C., Chen, Y. P., Wu, J. F., Dong, C.** Heat Transfer Enhancement of Folded Helical Baffle Electric Heaters With One-Plus-Two U–Tube Units // «Applied Thermal Engineering», 2016; 102. – P. 586–595.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

**Р.М. Искаков¹, Г. К. Кубентаева², Р. Т. Қасым³, А. М. Акаев⁴*

^{1,2,3,4}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

⁴Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУ БЕРУ ОРТАСЫН ЭЛЕКТРЖЫЛЫТУЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ

Мақалада конвективтік кептіру процесі кезінде электрлік қыздырудың сипаттамалық ерекшеліктерін жүйелеу бойынша зерттеулер қарастырылған. Электр жылытудың жүйелік талдауының иерархиясы деңгейінің әзірленген схемасы негізінде электр жылытудың тиімділігін арттыруға қыздырғыштың дизайнын және ауаны жылытудың оңтайлы режимін жақсарту арқылы қол жеткізуге болатыны анықталды. жылу беру уақытының төмендеуі және қыздырылған газ ортасымен ядроның жылулық жанасуының жабылуы. Жануарлардан алынатын азықтық үн өндіруге арналған құрылғының патенттелген конструкциясы (Қазақстан Республикасының № 7276 патенті) сипатталған, ол ыстық ауаны тарату үшін электр қыздырғыш пен үрлегіштің көмегімен конвективтік кептіруге мүмкіндік береді. Ғылыми ақпаратты қарастырған кезде, зерттеулерде электр жылытқышы бар кептіргіштің температуралық деңгейлеріне, кептіргіштің энергия тиімділігіне, энергияны үнемдеу әдісіне, инфрақызыл қыздырғышқа, жылытқыштың қуатына мұқият назар аударылатыны анықталды. жылытқыштардың әрекетін түсіндіретін және негіздейтін эмпирикалық деректермен, тәуелділіктермен, диаграммалармен

расталады. Сонымен қатар ғалымдардың көптеген зерттеулері тікелей қыздырғыш қыздырғыштардың сәулелік және конвективті секцияларын қолдануға, қыздырғыш секциясының бойындағы орташа ауа температурасының көрсеткіштеріне, қыздырғыштың бетінен ауаның біркелкі қызуына, кедергі сымдары мен кремний-коміртекті таяқшалар, қалқалар.

Кілтті сөздер: электр қыздырғыш, кептіру, конвекция, жылу беру, температура.

**R. M. Iskakov¹, G. K. Kubentaeva², R. T. Kasym³, A. M. Akaev⁴*

^{1,2,3}Kazakh Agrarian Technical University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

⁴D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

Material received on 15.09.22.

CHARACTERISTIC FEATURES OF THE ELECTRIC HEATING OF THE HEAT TRANSFER MEDIUM OF A CONVECTIVE DRYER

The article deals with studies on the systematization of the characteristic features of electric heating during the process of convective drying. Based on the developed scheme of the level of the hierarchy of the system analysis of electric heating, it was revealed that an increase in the efficiency of electric heating can be achieved by improving the design of the heater and the optimal mode of air heating with a decrease in the heat transfer time and coverage of the thermal contact of the core with the heated gaseous medium. A patented design of a device for the production of feed meal of animal origin (patent of the Republic of Kazakhstan No. 7276) is described, which allows convective drying using an electric heater and a blower to distribute hot air. When reviewing scientific information, it was revealed that in studies, close attention is paid to the temperature levels of the dryer with an electric heater; the energy efficiency of the dryer, the energy-saving method, the infrared heater, the heater power, which is confirmed by empirical data, dependencies, diagrams that explain and justify the actions of heaters. At the same time, many studies of scientists rely on the use of radiant and convective sections of direct heating heaters, readings of the average air temperature along the heater section, uniform heating of air from the surface of the heater, resistance wires and silicon-carbon rods, partitions.

Keywords: electric heater, drying, convection, heat transfer, temperature.

<https://doi.org/10.48081/JNDQ5849>

***А. Е. Кулакаева¹, А. И. Самсоненко², Ж. Ж. Онгенбаева³,
С. С. Қойшыбай⁴, Р. Ж. Камал⁵**

^{1,2,3,4,5}Международный университет информационных технологий,

Республика Казахстан, г. Алматы;

²Институт космической техники и технологий,

Республика Казахстан, г. Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В настоящее время для радиотехнических систем наибольший интерес представляют антенны типа активно-фазированных антенных решеток, в которой к каждому излучателю антенной решетки подключается активный элемент в виде усилителя мощности, генератора или преобразователя частоты.

Основной целью настоящей работы является исследование одного из основных блоков антенны типа активно-фазированных антенных решеток, в частности системы распределителя мощности, обеспечивающего распределение сигнала от общего возбуждителя по всем каналам активно-фазированных антенных решеток.

В данной статье были исследованы основные технические характеристики активно-фазированных антенных решеток. Также были рассмотрены основные виды делителей мощности активно-фазированных антенных решеток, их структурные схемы построения, а также проведены измерения амплитудно-частотных параметров делителей и характеристик согласования. Также исследован частный случай от большого многопортового делителя активно-фазированной антенной решетки. Проведены измерения амплитудно-частотных параметров делителей активной фазированной антенной решетки и характеристики согласования с помощью анализатора спектра Microwave Analyser N9915A на базе ДТОО «Институт космической техники и технологий». Данные исследования могут быть актуальны для последующего этапа проектирования активной фазированной антенной решетки.

Ключевые слова: делитель, антенна, сканирование, амплитудно-частотная характеристика, анализатор спектра, измерение, частота, спектр.

Введение

На сегодняшний день существует множество различных типов антенн, но особый интерес вызывают фазированные антенные решетки (ФАР) и его последующий переход на активные ФАР (АФАР). В таких антенных системах имеется множество излучающих элементов, которые позволяют повысить энергетический потенциал антенной системы, а также получить узкую диаграмму направленности, по сравнению с единичным излучателем. Преимуществом АФАР является то, что к каждому излучателю антенной решетки подключается активный элемент в виде генератора, усилителя мощности или преобразователя частоты. Антенные решетки подобного типа являются перспективными антенными системами, которые нашли широкое применение в системах спутниковой связи, в радиолокационных и радионавигационных системах, в системах мобильной связи, а также в системах радиоэлектронной борьбы. Известны случаи использования АФАР в бортовых радиолокационных станциях, обеспечивающих большую дальность обнаружения целей, широкий спектр сканирования и работу в широкой полосе частот [1–7].

На сегодняшний день использование антенных систем, таких как АФАР, является перспективными для современных радиотехнических систем. Основные требования, предъявляемые к таким системам, можно отнести: расширение рабочей полосы частот, обеспечение высокого энергетического потенциала, многофункциональный режим работы и др.

Основной целью настоящей работы является исследование одного из основных блоков АФАР – системы распределителя мощности, обеспечивающего распределение сигнала от общего возбуждителя по всем каналам АФАР. Таким образом, исследован частный случай от большого многопортового делителя АФАР.

На рисунке 1 представлена обобщенная структурная схема АФАР.

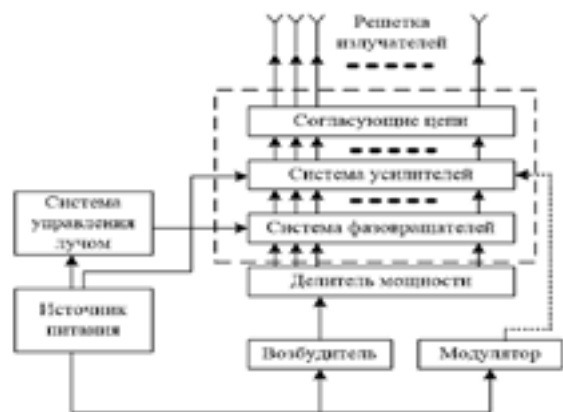


Рисунок 1 – Обобщённая структурная схема АФАР

При проектировании антенной системы АФАР особое внимание уделяется делителю мощности или же сумматору. Делители мощности распределяют мощность, поступающую на вход, между несколькими выходными каналами. Сумматоры обеспечивают сложение мощностей, поступающих на несколько входных каналов, в общей нагрузке. Делители и сумматоры мощности являются, как правило, взаимными устройствами, т.е. могут выполнять и деление, и суммирование мощности. В зависимости от назначения делители мощности осуществляют равное или неравное деление на два или большее число каналов.

К делителям и сумматорам мощности могут предъявляться самые разнообразные требования, которые определяются их применением. Делители мощности фазированных антенных решеток должны обеспечивать в выходных плечах заданное амплитудно-фазовое распределение, которое формирует требуемую диаграмму направленности решетки. При построении широкополосных транзисторных усилителей мощности применяются квадратурные делители и сумматоры, выполняющие наряду с функциями деления (суммирования) функции согласования отдельных каскадов усилителя с генератором и друг с другом [8-10]. При сложении мощностей нескольких генераторов должна быть обеспечена их синхронизация, чтобы получить синфазное сложение их мощностей в нагрузке. Делители и сумматоры мощности должны иметь приемлемое согласование в полосе частот и необходимую развязку между каналами.

Материалы и методы исследования

Исследован делитель на 2 и на 4 (рисунок 2), работающий в диапазоне 800-2700 МГц. Данные делители используются в экспериментах ДТОО «Институт космической техники и технологий» и предоставлено для анализа и измерений.

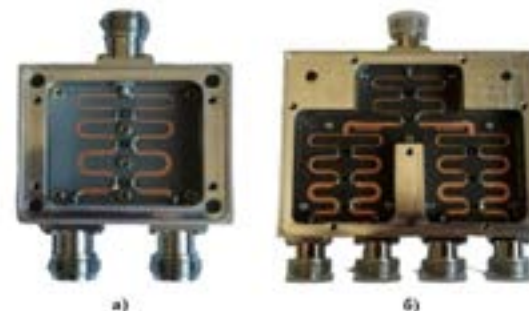


Рисунок 2 – Делители мощности на 2 (а) и на 4 (б)

В качестве материала для печатной платы в обоих делителях применен фольгированный (армированный) стекловолокном, фторопласт (ФАФ). Этот материал (рисунок 3) в радиодиапазоне обладает меньшими потерями, чем стеклотекстолит. Его диэлектрическая проницаемость (при частоте 10 ГГц) $\epsilon=2,5\pm 0,1$. В этом случае коэффициент укорочения необходимый при расчете топологических размеров: составляет $=1,58$.



Рисунок 3 – Фольгированный (армированный) фторопластовый диэлектрик

В измерениях использован анализатор FieldFox Microwave Analyser N9915A. Портативный комбинированный СВЧ анализатор FieldFox Analyser N9915A (рисунок 4) предназначен для выполнения широкого круга задач от планового технического обслуживания оборудования до всесторонней

диагностики и устранения неисправностей. СВЧ анализатор FieldFox обеспечивает высокое качество измерений, как в лаборатории, так и в полевых условиях.



Рисунок 4 – Microwave Analyser N9915A

Основное назначение комбинированного сверхвысокочастотного (СВЧ) анализатора – это тестирование кабелей и антенн. Еще он может быть сконфигурирован как векторный анализатор цепей и анализатор спектра. Дополнительные опции:

- включают измеритель мощности;
- независимый генератор сигналов;
- векторный вольтметр;
- анализатор помех;
- регулируемый источник постоянного тока и встроенный GPS приемник.

Технические характеристики FieldFox Microwave Analyser указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики Microwave Analyser N9915A

Диапазон частот	от 30 кГц до 9 ГГц
Динамический диапазон	100 дБ
Погрешность измерения амплитуды	±0,5 дБ
Время работы от аккумулятора	3,5 часа
Масса прибора	3,0 кг
Рабочий диапазон температур	от -10°C до +55°C

Результаты и обсуждение

В данной работе проведены измерения амплитудно-частотных параметров делителей и характеристик согласования. Параметр АЧХ (S21) показал ослабление (затухание, дБ) сигнала в делителе между входом и выходом (то есть из порта 1 в порт 2 анализатора цепей). Между выходами 2 и 3 было замерено переходное ослабление (изоляция, дБ), которое показало,

что существует развязка между выходами 2 и 3 делителя. Параметр КСВ (S11) показал коэффициент согласования делителя с волновым сопротивлением кабельной линии (фидерной) 50 Ом. КСВ близки к единице во всем диапазоне частот делителя, что означает хорошее согласование, в случае если все выходы делителя нагружены равномерно на сопротивление 50 Ом.

В режиме анализа цепей измерены характеристики ослабления (S21–параметр), а также в режиме (S11-параметр) измерены параметры отражение и согласование (рисунок 5 - 7).

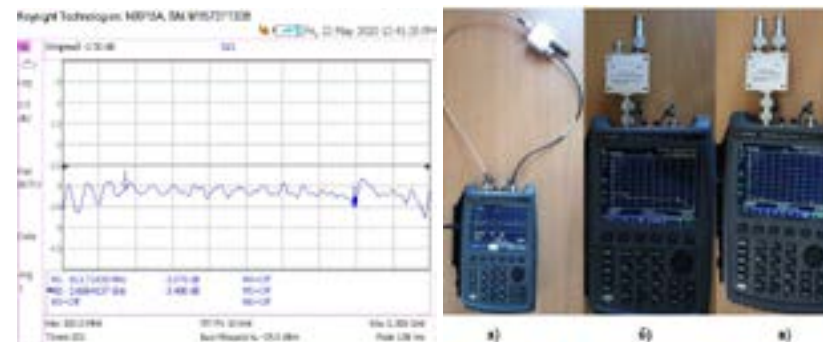


Рисунок 5 – АЧХ (S21) делителя мощности на 2 с нагруженным портом

а – схема измерения АЧХ (S21) делителя на 2; б – схема измерения КСВ (S11) делителя на 2 с одним не нагруженным портом; в – схема измерения КСВ (S11) делителя на 2 с двумя нагруженными портами

Рисунок 6 – Схемы для измерения АЧХ и КСВ

Для равномерной нагрузки в измерениях были использованы коаксиальные аттенуаторы. При отключении аттенуатора от одного выхода делителя наблюдалось ухудшение КСВ (S11), а значит ухудшение согласования. Аналогичные результаты получены при измерениях делителя на 4.

На рисунке 7 приведен коэффициент отражения. В начале, и в конце диапазона маркер 1 и 2. В данном случае КСВ=2,908, потому что один из портов оказался не нагруженным. Из этого нарушилась симметрия делителя.

На рисунке 8 приведен идеальный КСВ=1,192, потому что два порта нагружены симметрично, симметрия делителя не нарушена.



Рисунок 7 – АЧХ (S11) делителя на 2 с одним не нагруженным портом

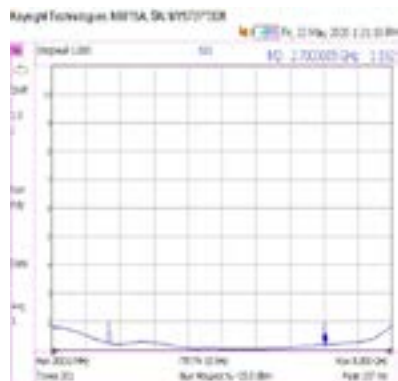


Рисунок 8 – АЧХ (S11) делителя на 2 с двумя нагруженными портами

На рисунке 9 представлен КСВ обратного порта, при нагруженных остальных портах. Мы наблюдаем равнозначность обратного и прямого портов, потому что КСВ близок к идеалу.

На рисунке 10 видно прохождения тестового сигнала из порта 2 в порт 3 на краях диапазоне частот (800-2700 МГц) ослаблен на $-21,25$ дБ. Таким образом, наблюдается развязка (изоляция) между портами.



Рисунок 9 – КСВ (S11) делителя мощности на 2 обратного порта

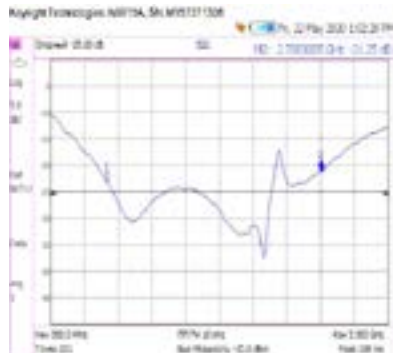


Рисунок 10 – АЧХ (S21) переходное ослабления между портами 2 и 3



Рисунок 11 – Схема измерения КСВ обратного порта делителя



Рисунок 12 – Схема измерения переходного ослабления (развязка, изоляция)

Приведены сравнительные АЧХ прямого и обратного прохождения сигнала через делитель (рисунок 13). Приведены АЧХ (S21) делителя на 4, при нагруженных остальных портах (рисунок 14). Потери прохождения сигнала (марк.1 – 6,329 дБ, марк.2 – 6,625 дБ) соответствуют коэффициенту деления на 4.



Рисунок 13 – Сравнительная АЧХ (S21) делителя мощности на 2



Рисунок 14 – АЧХ (S21) делителя мощности на 4

На рисунке 15 приведено КСВ делителя мощности на 4 с нагруженными портами. В конце диапазона, правее маркера 2 наблюдаем ухудшение согласования – график поднимается вверх более 2 единиц.

На рисунке 16 приведено ухудшение КСВ (марк.1, марк.2, и марк.3 – до 3,039 единиц) при отсутствии нагрузок на портах 3 и 4 (произошло рассогласование).



Рисунок 15 – КСВ (S11) делителя мощности на 4 остальные порты нагружены



Рисунок 16 – КСВ (S11)



Рисунок 17 – Схема измерения КСВ первого порта делителя мощности на 4

Выводы

Таким образом, в результате исследований параметр АЧХ (S21) показал ослабление сигнала в делителе между входом и выходом. Между выходами 2 и 3 было замерено переходное ослабление. Измерения показали, что существует развязка между выходами 2 и 3 делителя. Параметр КСВ (S11) показал коэффициент согласования делителя с волновым сопротивлением фидерной линии 50 Ом. КСВ близки к единице во всем диапазоне частот делителя, что означает хорошее согласование, в случае если все выходы делителя нагружены равномерно на сопротивление 50 Ом. Для равномерной

нагрузки в измерениях были использованы коаксиальные аттенюаторы. При отключении аттенюатора от одного выхода делителя наблюдалось ухудшение КСВ (S11), а значит ухудшение согласования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Воскресенский, Д. И., Канащенкова А. П.** Активные фазированные антенные решетки // М. : Радиотехника, 2004. - 488 с.
- 2 **Воскресенский, Д.И.** Проектирование фазированных антенных решеток // М. : Радиотехника, 2012.
- 3 **Айтмагамбетов, А. З., Кулакаева, А. Е., Кожамметова, Б. А., Жаксылык, А. Ж.** Оценка энергетического бюджета для системы радиомониторинга на базе низкоорбитальных спутников // Вестник АУЭС. – 2019. – № 4 (47). – С. 88.
- 4 **Кожамметова, Б. А., Камал, Р. Ж., Койшыбай, С. С.** Вопросы применения активных фазированных антенных решеток в радиотехнических системах // Современные технологии в науке и образовании–СТНО-2019. – 2019. – С. 46–50.
- 5 **Ступин, Д. Д., Перлов, А. Ю., Маврин, А. В.** Исследование и испытания передающих комплексов АФАР для обеспечения тактико-технических характеристик РЛС // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2018. – №. 3 (197).
- 6 **Дзюба, А. П.** Перспективы развития фазированных антенных решеток // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2013. – Т. 30. – № 3.
- 7 **Жумашев, Н. Г., Каражанов, Б. Б., Сулейменов, Е. А.** Самолетные радиолокационные станции с использованием фазированной антенной решетки // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2017. – Т. 2.
- 8 **Тушнов, П. А., Бердыев, В. С.** Технология управления выходной мощностью приемопередающего модуля АФАР // Радиотехника. – 2015. – №. 10. – С. 62-74.
- 9 **Карасев, М. С.** и др. Многофункциональный приемо-передающий модуль АФАР нового поколения // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2018. – Т. 1. – С. 239–242.
- 10 **Викулов, И.** Радиоэлектронные системы с АФАР: направления развития и применения // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2017. – № 5. – С. 126–134.

REFERENCES

- 1 **Voskresensky, D. I., Kanaschenkov, A. P.** Active phased antenna arrays //– M.: Radiotekhnika, 2004.– p. 488.
- 2 **Voskresensky, D.I.** Design of phased antenna arrays. //M.: Radiotekhnika, 2012.
- 3 **Aitmagambetov, A. Z., Kulakaeva, A. E., Kozhakhmetova, B. A., Zhaksylyk, A. Zh.** Estimation of the energy budget for a radio monitoring system based on LEO satellites. //AUPET Bulletin. 2019. – № 4 (47). – p.88.
- 4 **Kozhakhmetova, B.A., Kamal, R. Zh., Koishybai, S.S.** Issues of using active phased antenna arrays in radio engineering systems // Modern technologies in science and education-STNO-2019. – 2019 .- pp. 46–50.
- 5 **Stupin, D. D., Perlov, A. Yu., Mavrin, A. V.** Research and testing of AFAR transmitting complexes to ensure the tactical and technical characteristics of the radar // Bulletin of the Southern Federal University. Technical science. – 2018. – 3 (197).
- 6 **Dzyuba, A.P.** Prospects for the development of phased antenna arrays // Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. – 2013. – Т. 30. – 3.
- 7 **Zhumashev, N. G., Karazhanov, B. B., Suleimenov, E. A.** Aircraft radar stations using a phased array antenna // Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality». – 2017.–Т. 2.
- 8 **Tushnov, P.A., Berdyev, V.S.** Technology for controlling the output power of the AFAR receiving and transmitting module // Radio engineering. – 2015. – No. 10. – p. 62–74.
- 9 **Karasev, M.S.** et al. Multifunctional AFAR receiving and transmitting module of the new generation // Electronics and microelectronics of microwave. – 2018. – Vol. 1. – p. 239–242.
- 10 **Vikulov, I.** Radioelectronic systems with AFAR: directions of development and application // Electronics : Science, technology, business. – 2017. – № 5. – p. 126–134.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*А. Е. Кулакаева¹, А. И. Самсоенко², Ж. Ж. Онгенбаева³,
С. С. Қойшыбай⁴, Р. Ж. Камал⁵

^{1,2,3,4,5}Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

²Ғарыштық техника және технологиялар институты,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

**БЕЛСЕНДІ ФАЗАЛАНҒАН АНТЕННА ТОРЫНЫҢ
ҚУАТ БӨЛГІШІН ЗЕРТТЕУ**

Қазіргі уақытта радиотехникалық жүйелер үшін белсенді фазалық антенна торлары сияқты антенналар үлкен қызығушылық тудырады, онда белсенді элемент әр антенна торының сәулелендіргішіне қуат күшейткіші, генератор немесе жиілік түрлендіргіші түрінде қосылады.

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты белсенді фазаланған антенна торлары түріндегі антеннаның негізгі блоктарының бірін, атап айтқанда белсенді фазаланған антенна торларының барлық арналары бойынша жалпы қоздырғыштан сигналдың таралуын қамтамасыз ететін қуат тарату жүйесін зерттеу болып табылады.

Бұл мақалада белсенді фазаланған антенна торларының негізгі техникалық сипаттамалары зерттелді. Сондай-ақ, белсенді фазаланған антенна торларының қуат бөлігішінің негізгі түрлері, олардың құрылымдық сұлбалары қарастырылды, сонымен қатар бөлігішінің амплитудалық-жиілік параметрлері мен сәйкестік сипаттамалары өшенді. Сондай-ақ, белсенді фазаланған антенна торының үлкен көп портты бөлігішінің ерекше жағдайы зерттелді. «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЖШС негізінде Microwave Analyser N9915A спектр талдағышының көмегімен белсенді фазаланған антенналық тор бөлігішінің амплитудалық-жиіліктік параметрлерін өлшеу және келістіру сипаттамасы жүргізілді. Зерттеу деректері белсенді фазалық антенна торын жобалаудың келесі кезеңіне қатысты болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: бөлігіш, антенна, сканерлеу, амплитудалық-жиіліктік сипаттама, өлшеу, жиілік, спектр.

*А. Ye. Kulakayeva¹, A. I. Samsonenko², Zh. Zh. Ongenbaeva³,
S. S. Koyshybai⁴, R. Zh. Kamal⁵

^{1,2,3,4,5}International Information Technology University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

²Institute of Space Engineering and Technology,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 15.09.22.

RESEARCH OF THE POWER DIVIDER OF THE ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY

Currently, for radio engineering systems, the most interesting are antennas of the type of active-phased antenna arrays, in which an active element in the form of a power amplifier, generator or frequency converter is connected to each radiator of the antenna array.

The main purpose of this work is to study one of the main antenna blocks of the type of active-phased antenna arrays, in particular, a power distributor system that ensures the distribution of a signal from a common exciter across all channels of active-phased antenna arrays.

In this article, the main technical characteristics of active-phased antenna arrays were investigated. The main types of power dividers of active-phased antenna arrays, their structural schemes of construction were also considered, as well as measurements of the amplitude-frequency parameters of the dividers and matching characteristics were carried out. A special case of a large multipoint divider of an active-phased array antenna is also investigated. The amplitude-frequency parameters of the dividers of the active phased array antenna and the characteristics of the solgassing were measured using the Microwave Analyser N9915A spectrum analyzer based on the Institute of Space Engineering and Technology. These studies may be relevant for the next stage of designing an active phased array antenna.

Keywords: divider, antenna, scanning, frequency response, measurement, frequency, spectrum

МРНТИ 44.29.29

<https://doi.org/10.48081/SYOY6805>

***А. Д. Мехмиев¹, Р. Р. Бузяков², З. Р. Шапенова³**

¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

^{2,3}Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

ПАРОВОЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЬ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В статье приведены результаты исследования вакуумного электронагревательного элемента парового электрообогревателя низкого давления. Данный вид электрообогревателей имеет принципиально новую конструкцию, которая обеспечивает достаточно высокую эффективность преобразования электрической энергии в тепловую. Паровой электрообогреватель низкого давления имеет высокие показатели надежности и пожаробезопасности и имеет высокую эффективность при создании автономных беструбных систем отопления, так как в нем сочетаются эффективность электрической спирали и комфортное тепло традиционного радиатора отопления. Проведен анализ исследований, посвященных проблемам теплоснабжения, создания новых систем отопления и повышения их эффективности. Описаны преимущества использования электрообогревателя по сравнению с традиционными системами отопления.

В статье рассмотрены конструкция парового электрообогревателя низкого давления и конструкция тепловой трубки. Проведены экспериментальные исследования вакуумных электронагревателей при изменении геометрических параметров трубок по диаметру, длине и объему теплоносителя. Установлено, что наилучшим вариантом теплоносителя является дистиллированная вода, прошедшая аэрацию. Глубина разряжения напрямую влияет на эффективность и температуру нагрева теплоносителя и, соответственно, на коэффициент полезного действия. Важными моментами являются глубина вакуума, а также образование кавитации теплоносителя, что дает дополнительную энергию.

Ключевые слова: радиатор, электрообогреватель, энергосбережение, вакуум, тепловой прибор, система отопления.

Введение

Совершенствование систем отопления зданий является весьма важным вопросом для районов с холодным климатом, так как для поддержания микроклимата в помещении необходимо использовать отопительные приборы. Одним из перспективных отопительных приборов может быть паровой электрообогреватель низкого давления (ПЭНД), совмещающий в себе преимущества масляного электрообогревателя и эффективность электрической спирали. ПЭНД способен создавать комфортное тепло, аналогичное радиатору отопления, но при этом для его работы не требуется система трубопроводов. На основе ПЭНД можно создать полностью автономные системы теплоснабжения, использующие все преимущества электрического тока, что является весьма перспективным направлением развития систем теплоснабжения. Преимуществами использования ПЭНД по сравнению с традиционными системами отопления являются: нулевая вероятность «разморозки», засорения и износа проточной части; отсутствие трубопроводов с жидким теплоносителем и циркуляционного насоса; нулевая вероятность повреждения и возникновения утечки теплоносителя. Все эти обстоятельства позволяют разработать полностью автономную и автоматизированную интеллектуальную систему отопления с высокой эффективностью работы [1].

Известны множество различных по конструкции электрических обогревателей, которые достаточно подробно описаны в источниках и используются повсеместно несколько десятков лет [2]. Наиболее близким к ПЭНД является литиево-бромидный радиатор отопления, который может работать на различных источниках, в котором горячая вода нагревает литиевую жидкость бромида. Недостатком данного решения является дороговизна применяемого наполнителя. Помимо этого, при выходе из строя электроннагревательного элемента, приходится полностью демонтировать всю конструкцию электроннагревателя [3, 4].

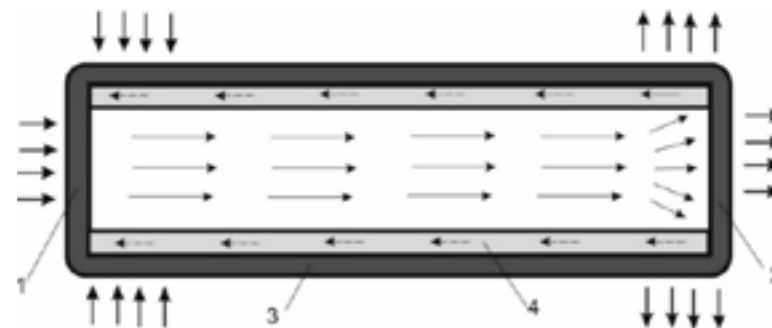
Множество работ посвящены развитию систем теплоснабжения и повышению их эффективности [5, 6]. Важным является практическая реализация мероприятий по энергосбережению [7]. Также рассмотрены современные высокоэффективные автономные энергосберегающие системы отопления на основе электрических обогревателей [8]. Имеются сведения о разработке электрообогревателей нового поколения для автономных систем [9]. Рассмотрены проблемы развития систем теплоснабжения [10], где одним из вариантов для создания автономных систем отопления является

использование электрического тока. Имеются также ряд зарубежных публикаций, направленных на создание новых источников тепла и повышение эффективности работы систем отопления [11-13]. Исследования основаны на использовании известных методов и законов теории теплообмена [14, 15].

Материалы и методы

Для проведения исследований разработаны 3 лабораторных образца ПЭНД с электрической мощностью: 600, 800, 1000 Вт. ПЭНД питается от электрической сети постоянного или переменного тока 220 В (возможно 12-380 В). Площадь обогрева – 12–20 м² (при примерных тепловых потерях здания около 35-45 Вт/м³).

Основой ПЭНД является известная конструкция тепловой трубки. На рисунке 1 представлена условная схема, поясняющая ее принцип действия.



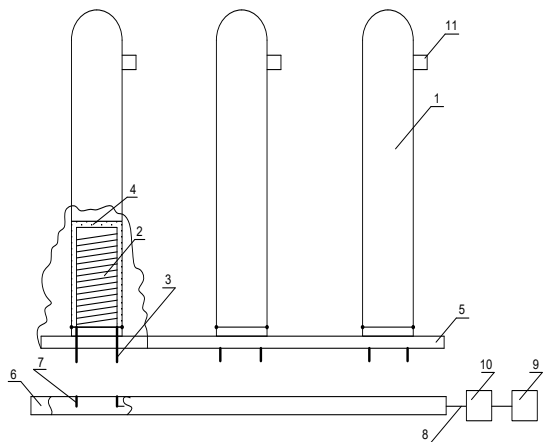
1 – зоны испарения, 2 – зоны конденсации, 3 – корпус трубки, 4 – пористый слой для возврата конденсата.

Рисунок 1 – Конструкция тепловой трубки

Тепловая трубка (ТТ) состоит из трех отдельных частей: зоны испарения, зоны конденсации и соединяющего корпуса.

Работа ПЭНД осуществляется следующим образом (рисунок 2). Через загрузочный клапан 11 во внутреннюю полость вакуумной трубки 1 заливают теплообразующую жидкость 4, которая покрывает электроннагревательный элемент 2 по всей его высоте, оставляя остальную полость свободной, затем через клапан 11 специальным насосом откачивают воздух из внутренней полости и создают в ней глубокий вакуум, после чего клапан 11 – запаивают. Трубка готова к работе. Штепсельную вилку 3 электроннагревательного элемента 2 через электроизоляционную прокладку 5 вставляют в штепсельную розетку 7 распределителя электроэнергии 6. Электроэнергия от источника питания 9, через терморегулятор 10, по токопроводам 8 подается на штепсельные розетки 7 и далее на электроннагревательный элемент 2.

Тепловая энергия которого воздействует на теплообразующую жидкость 4 водяной пар поднимается вверх по внутренней полости вакуумных вертикальных трубок 1 тем самым обеспечивает их нагрев. Терморегулятором 10 (обеспечивается климат контроль) – включение и отключение отдельных электронагревательных элементов 2 [3,4].



- 1 – корпус вакуумной тепловой трубки, 2 – нагревательный элемент, 3 – штупсельная вилка, 4 – теплоноситель, 5 – электроизоляционной прокладки, 6 – распределитель электроэнергии, 7 – штупсельная розетка, 8 – токопровод, 9 – источник электроэнергии, 10 – терморегулятор, 11 – трубка для откачки воздуха из внутренней полости вертикальной трубки.

Рисунок 2 – Конструкция парового электрообогревателя низкого давления

Результаты и обсуждение

Проведем экспериментальные исследования вакуумных электронагревателей ПЭНД при изменении геометрических параметров трубок по диаметру от 20 до 32 мм, по длине L от 250 мм до 400 мм и объему теплоносителя $V_1=10$ мл и $V_2=15$ мл. Начальные условия: температура помещения $T_{внутр}=24^{\circ}\text{C}$, средняя температура трубки вакуумного электронагревателя $T_{тр}=27^{\circ}\text{C}$. Внутреннее давление внутри полости электронагревателя $Q=9,807$ кПа или 0,1Атм для всех опытов эксперимента по исследованию вакуумных электронагревателей, выполненных из медной трубки толщиной стенки 1 мм. В качестве теплоносителя используется

дистиллированная вода. Мощность электронагревателя $P=60$ и 80 Вт. Графики зависимостей температуры от времени нагрева приведены на рисунках 3-8.

Опыт № 1. Вес вакуумного трубчатого электронагревателя 346 гр., мощность $P=80$ Вт, объем теплоносителя $V_1=10$ мл и $V_2=15$ мл, длина трубки $L=250$ мм, диаметр $d=32$ мм.

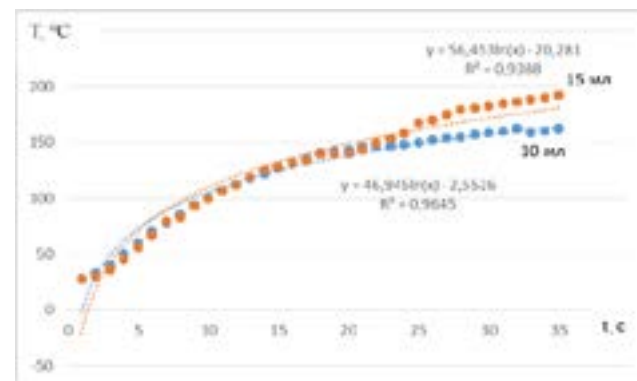


Рисунок 3 – Результаты опыта №1

Опыт № 2. Вес вакуумного трубчатого электронагревателя 434 гр., мощность $P=80$ Вт, объем теплоносителя $V_1=10$ мл и $V_2=15$ мл, длина трубки $L=400$ мм, диаметр $d=28$ мм.

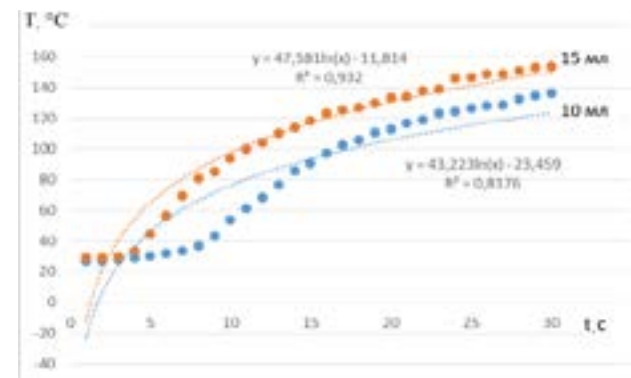


Рисунок 4 – Результаты опыта №2

Опыт № 3. Вес вакуумного трубчатого электронагревателя 267 гр., мощность P=60 Вт, объем теплоносителя V2=15 мл, длина трубки L=300 мм, диаметр d=20 мм.

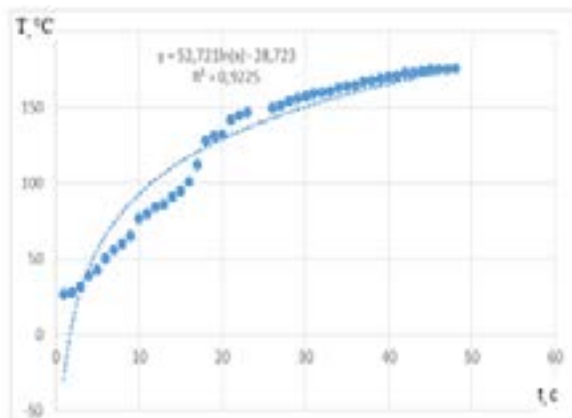


Рисунок 5 – Результаты опыта №3

Опыт № 4. Вес вакуумного трубчатого электронагревателя 469 гр., мощность P=100 Вт, объем теплоносителя V1=10 мл, длина трубки L=350 мм, диаметр d=32 мм.

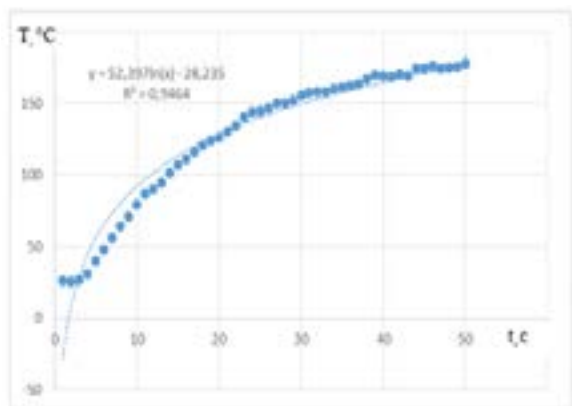


Рисунок 6 – Результаты опыта №4

Опыт № 5. Вес вакуумного трубчатого электронагревателя 335 гр., мощность P=80 Вт, объем теплоносителя V1=10 мл, длина трубки L=310 мм, диаметр d=28 мм.

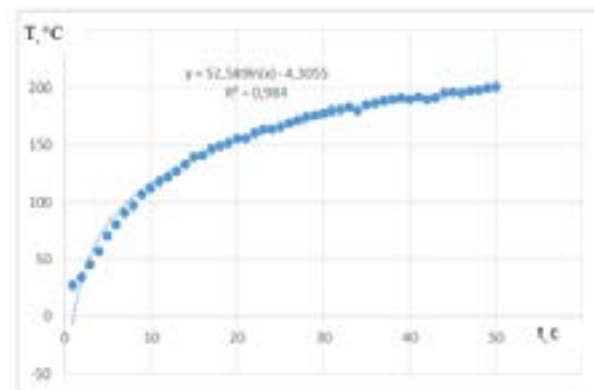


Рисунок 7 – Результаты опыта №5

Опыт № 6. Вес вакуумного трубчатого электронагревателя 307 гр., мощность P=60 Вт, объем теплоносителя V1=10 мл, длина трубки L=250 мм, диаметр d=28 мм.

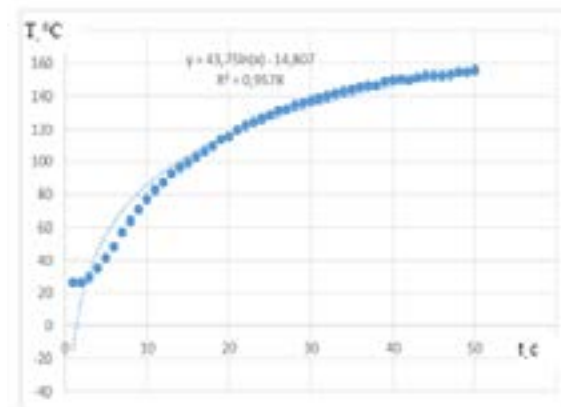


Рисунок 8 – Результаты опыта

Выводы

По итогу анализа результатов исследований, можно сделать вывод, что при снижении давления от 1 Атм до 0,01 Атм, температура кипения воды в трубке меняется от 1000 С до 5 0С. Дистиллированная вода, прошедшая аэрацию, является наиболее лучшим вариантом теплоносителя. Вода должна обязательно быть структурирована магнитным полем постоянного магнита. Глубина разряжения напрямую влияет на эффективность и температуру нагрева теплоносителя и, соответственно, на КПД. Трубки с разряжением во внутренней полости электронагревателя $Q = 9,807$ кПа или 0,1 Атм показали более слабый результат по отношению к трубкам с давлением 0,05 Атм. Соответственно важным моментом является глубина вакуума и его сохранность. В случае потери вакуума, трубка переставала набирать температуру. Важным моментом является образование кавитации теплоносителя, что дает дополнительную энергию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Мехтиев, А. Д., Карпенко, А. Н., Алдошина, О. В., Югай, В. В.** Автономные системы отопления нового поколения. Монография. – Караганда. КарГТУ, 2015. – 196 с.

2 Парокапельные нагреватели. [Электронный ресурс]. – <http://vestkz.ru/opisanie.html> (Дата обращения 10. 11. 2020)

3 **Мехтиев, А** Радиатор отопления. Патент на полезную модель № 2816. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан, опубл. 24.04.2018 [Электронный ресурс]. – <https://www.kazpatent.kz/kk>.

4 Радиатор отопления. Патент на изобретение № 32156. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан, опубл. 16.05.17 [Электронный ресурс]. – <https://www.kazpatent.kz/kk>.

5 **Балабанов, М. Ф.** Переход на поквартирное отопление как альтернатива решения одной из проблем коммунальной реформы // «Новости теплоснабжения». – № 3 (67). – Март, 2006.

6 **Братенков, В. Н., Хаванов, П. А., Вскер, Л. Я.** Теплоснабжение малых населенных пунктов. – М. : Стройиздат, 1988. – 223 с.

7 **Дмитриев, А. Н., Монастырев, П. В., Сборщиков, С. Б.** Энергосбережение в реконструируемых зданиях. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 208 с.

8 **Козлов, С.В.** Современные высокоэффективные автономные энергосберегающие системы отопления // «Новости теплоснабжения». – №8 (84). – 2007.

9 **Усадский, Д. Г., Фокин, В. М.** Экспериментальное определение теплотехнических свойств и параметров парокапельного нагревателя в стационарном тепловом режиме // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. – Вып. 21 (40).

10 **Варфоломеев, Ю. М., Кокори, О. Я.** Отопление и тепловые сети: Учебник. – М. : Инфра-М, 2006. – 480 с.

11 **Zhang, Y., Xia, J., Fang, H., Zuo, H., Jiang, Y.** Roadmap towards clean heating in 2035: Case study of inner Mongolia, China. Energy. Том 18915 December 2019, Номер статьи 116152.

12 **Wu, P., Wang, Z., Li, X., Xu, Z., Yang, Y., Yang, Q.** Energy-saving analysis of air source heat pump integrated with a water storage tank for heating applications. Building and Environment, Том 180 August, 2020, Номер статьи 107029.

13 **Espatolero, S., Romeo, L. M., Escudero, A. I., Kuivalainen, R.** An operational approach for the designing of an energy integrated oxy-fuel CFB power plant. International Journal of Greenhouse Gas Control. – Т. 64. – С. 204–211. – DOI: 10.1016/j.ijggc.2017.07.018.

14 **Аметистов, Е. В.** Основы теории теплообмена. – М. : Изд. МЭИ, 2000. – 242 с.

15 **Безродный, М. К., Пиоро, И. Л., Костюк, Т. О.** Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах : Монография. – Киев : Факт, 2003.

REFERENCES

1 **Mehtiev, A. D., Karpenko A. N., Aldoshina O. V., Iygai, V. V.** Avtonomnye sistemy otoplennia novogo pokolennia : Monografiia. [Autonomous heating systems of a new generation: Monograph.] – Karaganda : KSTU, 2015. – P. 196.

2 Steam-drop heaters. Parokapelnye nagrevateli. [Electronic resource]. – <http://vestkz.ru/opisanie.html>

3 **Mehtiev, A. D.** Radiator otoplennia. Patent na poleznyiy model № 2816. Zaregistrirován v Gosýdarstvennom reestre poleznyh modelei Respyblikí Kazahstan, opýbl. 24. 04. 2018 [Heating radiator. Utility model patent No. 2816. Registered in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan, publ. 24. 04. 2018]

4 **Mehtiev, A. D.** Radiator otoplennia. Patent na izobretenie № 32156. Zaregistrirován v Gosýdarstvennom reestre poleznyh modelei Respyblikí Kazahstan, opýbl. 16.05.17 [Heating radiator. Patent for invention No. 32156. Registered in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan, publ. 16.05.17]

5 **Balabanov, M. F.** Perekhod na pokvartirnoe otoplenie kak alternativa reshenia odnoi iz problem kómmýnalnoi reform. Novosti teplosnabjennia [Transition to

apartment-by-apartment heating as an alternative to solving one of the problems of communal reform] // Heat supply News. – No. 3 (67). – March, 2006.

6 **Bratenkov, V. N., Khavanov, P. A., Wesker, L. Y.** Teplosnabjenie malyh naselennyh p'nyktov [Heat supply of small settlements]. – M. : Stroyizdat, 1988.– 223 p.

7 **Dmitriev, A. N., Monastirev, P. V., Collectors, S. B.** Energosberejenie v rekonstr'iruyemyh zdaniyah. [Energy saving in reconstructed buildings]. – M. : DIA, 2008. – 208 p.

8 **Kozlov, S. V.** Sovremennyye vysokoeffektivnyye avtonomnyye energosberegay'ye sistemy otoplennia. Novosti teplosnabjennia [Modern highly efficient autonomous energy-saving heating systems] // Heat supply News. – No. 8 (84). – 2007.

9 **Usadsky D. G., Fokin V. M.** Eksperimentalnoe opredelenie teplotehnikeskikh svoystv i parametrov parokapelnogo nagrevatelya v statsionarnom teplovom rejime // Vestnik VolgGAS'Y [Experimental determination of thermal properties and parameters of a steam-drop heater in a stationary thermal regime // Vestnik VolgGASU. Ser.: Construction and Architecture]. – Volgograd : VolgGASU, 2011. – Issue 21(40).

10 **Varfolomeev, Y. M., Kokorin, O. Y.** Otoplenie i teplovye seti: 'Ychebnik [Heating and heating networks : Textbook] – M. : Infra-M, 2006. – P. 480.

11 **Zhang, Y., Xia, J., Fang, H., Zuo, H., Jiang, Y.** Roadmap towards clean heating in 2035: Case study of inner Mongolia, China. Energy. 18915. – December 2019, Article number 116152.

12 **Wu, P., Wang, Z. Li, X., Xu, Z., Yang, Y., Yang, Q.** Energy-saving analysis of air source heat pump integrated with a water storage tank for heating applications. Building and Environment, Vol. 180. – August, 2020, Article number 107029.

13 **Espatolero, S., Romeo, L. M., Escudero, A. I., Kuivalainen, R.** An operational approach for the designing of an energy integrated oxy-fuel CFB power plant. International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol. 64. – P. 204–211. – DOI: 10.1016/j.ijggc.2017.07.018.

14 **Ametistov, E. V.** Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of the theory of heat transfer]. – M. : MEI, 2000. – 242 p.

15 **Bezrodny, M. K., Pioro, I. L., Kostyuk, T. O.** Protsessy perenosa v dv'ufaznyh termosifonnyh sistemah: Monografiya [Transfer processes in two-phase thermosiphon systems: Monograph]. – Kiev : Fact, 2003.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

**А. Д. Мехтиеv¹, Р. Р. Бузяков², З. Р. Шаненова³*

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;

^{2,3}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ТӨМЕН ҚЫСЫМДЫ БУ ЭЛЕКТР ЖЫЛЫТҚЫШЫ

Мақалада төмен қысымды бу электр жылытқышының вакуумды электр қыздырғыш элементін зерттеу нәтижелері келтірілген. Электр жылытқыштардың бұл түрі электр энергиясын жылу энергиясына түрлендірудің жоғары тиімділігін қамтамасыз ететін түбегейлі жаңа конструкцияға ие. Төмен қысымды бу электр жылытқышы жоғары сенімділік пен өрт қауіпсіздігіне ие және автономды түтіксіз жылу жүйелерін құруда жоғары тиімділікке ие, өйткені ол электр спиралінің тиімділігі мен дәстүрлі жылыту радиаторының жайлы жылуын біріктіреді. Жылумен жабдықтау, жаңа жылу жүйелерін құру және олардың тиімділігін арттыру мәселелеріне арналған зерттеулерге талдау жүргізілді. Дәстүрлі жылыту жүйелерімен салыстырғанда электр жылытқышты қолданудың артықшылықтары сипатталған.

Мақалада төмен қысымды бу электр жылытқышының конструкциясы және жылу түтігінің конструкциясы қарастырылған. Түтіктердің геометриялық параметрлері жылу тасымалдағыштардың диаметрі, ұзындығы және көлемі бойынша өзгерген кезде вакуумдық электр жылытқыштарына эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Жылу тасымалдағыштың ең жақсы нұсқасы аэрациядан өткен тазартылған су екендігі анықталды. Тоқты ажырату тереңдігі жылу тасымалдағыштың тиімділігі мен қыздыру температурасына және, тиісінше, тиімділікке тікелей әсер етеді. Вакуумның тереңдігі, сонымен қатар қосымша энергия беретін жылу тасымалдағыштың кавитациясының пайда болуы маңызды сәт болып табылады.

Кілтті сөздер: радиатор, электр жылытқыш, энергия үнемдеу, вакуум, жылу аспабы, жылу жүйесі.

*A. D. Mekhtiev¹, R. R. Buzyakov², Z. R. Shapenova³

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

^{2,3}Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Material received on 15.09.22.

LOW PRESSURE STEAM ELECTRIC HEATER

The results of research of the vacuum electric heating element of a low-pressure steam electric heater are presented in the article. This type of electric heaters has a completely new structure, which provides sufficiently high efficiency of converting electrical energy into heat energy. The low-pressure steam electric heater has high indicators of reliability and fire safety and is highly efficient, when creating autonomous pipeless heating systems, as it combines the efficiency of an electric spiral and comfortable warmth of the traditional heating radiator. The analysis of research devoted to the problems of heat supply, the creation of new heating systems and improving their efficiency is carried out. The advantages of electric heater usage in comparison with traditional heating systems have been described.

A structure of the low-pressure steam electric heater and a structure of the heat pipe have been considered in the article. Experimental research of the vacuum electric heaters has been carried out with a change of the geometric parameters of tubes in diameter, length and volume of the heat transfer medium. It has been found out that the best variant of the heat transfer medium is distilled water, which has been subjected to aeration. The degree of underpressure directly affects the efficiency and heating temperature of the heat transfer medium and thus an efficiency coefficient. Important things are vacuum depth and formation of the heat transfer medium's cavitation, that provides additional energy.

Keywords: radiator, electric heater, energy saving, vacuum, heat device, heating system.

FTAMP 45.29.31

<https://doi.org/10.48081/ZJMY1827>

*A. K. Мукам

С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

ҚЫСҚАТҰЙЫҚТАЛҒАН РОТОРЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ ЭНЕРГОТИМДІЛІГІН ЖОҒАРЫЛАТУ ТӘСІЛІ

Бұл мақалада «Қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштардың энерготімділігін жоғарылату тәсілі» қазіргі заманғы электр жетегінің жүйелерінде жиі қолданылатын қозғалтқыштардың теориялық моделі ұсынылған. Олар өнеркәсіпте, құрылыста, ауыл шаруашылығында және тұрмыста кеңінен таралған. Бұл электр машиналарының теориясы жоғары оқу орындарының ірі және кеңінен танымал ғалымдары, конструкторлары мен профессорлары болып табылатын отандық және шетелдік авторлардың оқулықтарында үйлесімді және қисынды жазылған. Теориялық және практикалық қолданудың дамуына ғалымдар үлкен үлес қосты. Осы мәселенің зерттеуін бастамас бұрын ең алдымен, қысқа тұйықталған ротормен бейсинхронды қозғалтқыштарында ротор ойықтарын жобалау бойынша қандай ұсыныстар бар екенін анықтайық. Біріншіден, осы өнімдер өндірісінің көп жылдық тәжірибесі бар ротор ойықтарының тексерілген ұтымды саны бойынша көлемді мәліметтер бар. Басқа сөзбен айтқанда, техникалық әдебиеттерде кез келген талап етілетін жағдайға ротор ойықтарының саны және олардың кескіндемелері бойынша нақты ұсыныстар болады. Екіншіден, ротордың барлық ойықтар ауданы одан да артық болу тиіс. Алайда, ондай тікелей сілтеме жоқ, бірақ бұл есептік қатынасын шығару барысынан анықталып, ротордың белсенді кедергілері тиімді электр магниттік түрленуіне бейсинхронды қозғалтқышының қабілетіне жағымсыз әсер етеді.

Кілтті сөздер: қозғалтқыш, ротор, статор, энерготімділік

Кіріспе

Соңғы уақытта асинхронды қозғалтқыштардағы энергия үнемдеу мәселесі алдыңғы жоспарға шығады. Оған қол жеткізу үшін әзірлеушілер асинхронды қозғалтқыштарды өндіру кезінде жасалған шығындар оларды пайдалану кезінде бірнеше рет өтелетінін түсіне отырып, машинаның өзіндік құнын біршама арттыруға барады [1]. Айта кету керек, бұл бағытта көптеген пайдаланылмаған мүмкіндіктер бар: әзірлеушілер жарнамалық компаниялардың тұтынушыларымен жиі өткізбейді, олар энергия тиімді асинхронды қозғалтқыштардың стандартты бұйымдардан айқын артықшылықтарын көрсететін болады [2]. Себебі, энергиялық тиімді асинхронды қозғалтқыштардың босату бағасы, әрине, стандарттағыдан әлдеқайда көп болады [3].

Материалдар мен әдістер

Мақсаты ротордың аймағын тиімді есептеу бөлігінде қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды жобалау әдістемесін дамыту болып табылады [4].

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі ғылыми-техникалық міндеттерді шешу қажет [5]:

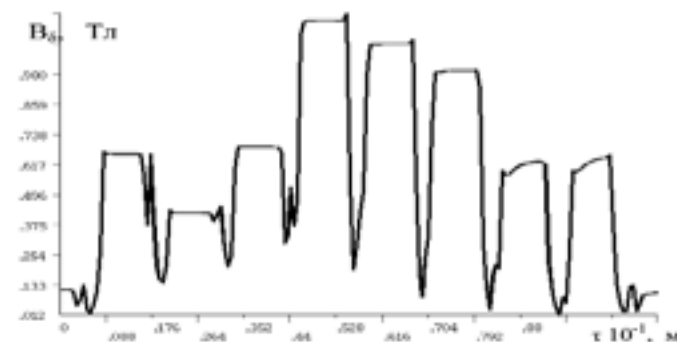
Энергия тиімділігін арттыруды қамтамасыз ете отырып, қуаты 0,75; 7,5; және 15 кВт әр түрлі сериялы қысқа тұйықталған роторы бар үшфазалы асинхронды қозғалтқыштарды моделдеуді орындау.

Үшфазалы асинхронды қарастырылып отырған қуаттар диапазоны жұмысының энергия тиімділігін жақсартуға мүмкіндік беретін ротордың магнит жүйесі конструкциясының нұсқаларын ұсыну.

Қысқа тұйықталған роторы бар энергиялық тиімді үш фазалы асинхронды қозғалтқыштар роторының жетілдірілген тісті аймағын жобалауға қойылатын талаптарды қалыптастыру.

Қолданылатын есептеу әдісінің дұрыстығын растау үшін тәжірибелік зерттеулер жүргізу [6]. Оның ішінде, сериялық зауыт жағдайында жаңа роторлар жасап, қозғалтқыштарды пайдалану арқылы сынау.

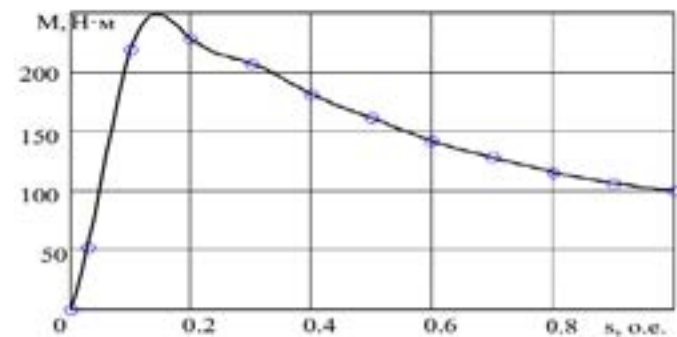
Алмастыру схемалары негізінде орындалған есептеулер осы жағдайды ескермейді, сондықтан электромагниттік өріс позициясынан есептелген электромагниттік моменттің шамасы жол беру санының аз болуы себебінен неғұрлым сенімді болады [7].



1-сурет

Білікке номиналды жүктеме кезінде полюсті бөлудегі әуе саңылауында қисық магниттік индукцияның таралуы ($s = 0,029$ о. е.)

Асинхронды қозғалтқыштың сырғуынан электромагниттік айналмалы моменттің сипаттамасы келтірілген [8].



2-сурет

Электромагнитті айналмалы моменттің электромагнитті өрісті есептеу арқылы алынған 4A132S4 электрқозғалтқыштың сырғуына тәуелділігі.

Нәтижелер және талқылау

Жүргізілген зерттеулер келесі негізгі нәтижелерді тұжырымдауға мүмкіндік берді [9].

- Ротор геометриясының өзгеруі кезінде электромагниттік өрісті зерттеу стандартты асинхронды қозғалтқыштың энерготіімді алу жолын көрсетті.

- Ротордың көлденең қимасындағы өткізгіш материалының ауданы асинхронды қозғалтқыштың энергияны тиімді түрлендіруге қабілеттілігіне әсер ететіні анықталды.

- Ротор паздарының саны олардың өзгермейтін түрі мен ауданы кезінде түрленуі іске қосу режимінде және номиналды сырғу кезінде электромагниттік айналмалы моменттің экстремумын табуға мүмкіндік берді.

- Әдетте, оңтайландырылған энергия тиімді қозғалтқыштарда ротордың өткізгіштік материалының жиынтық саны стандартты бұйымдарға қарағанда аз [10]. Қозғалтқыштың магниттік жүйесі жоғары қанығу шегі болған кезде бұл заңдылық бұзылады.

- Соңғы элементтер әдісімен есептелген электромагниттік айналмалы сәт, білікке түсетін жүктеме ПТ-16М1 электромагниттік ұнтақты тежегішімен берілген, ал бос жүрістің жоғалту сәті тәжірибеден анықталған эксперименталды зерттеулер мәліметтерімен жақсы сәйкес келеді.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер келесі негізгі нәтижелерді тұжырымдауға мүмкіндік берді.

1 Геометрияның өзгеруі кезіндегі электромагниттік өрісті зерттеу ротор стандартты асинхронды қозғалтқышта энергияны қалай тиімді алуға болатынын көрсетті.

2 Өткізгіштер материалының ауданы көлденең ротор қимасының асинхронды қозғалтқышына, энергияны тиімді түрлендіруге қабілетіне әсер етеді.

3 Ротор пазасының санының өзгермейтін формасында өзгеруі және экстремумды табуға мүмкіндік берді. Іске қосу режимінде және номиналды сырғу кезіндегі айналмалы момент болып табылады.

4 Әдетте, оңтайландырылған энергиялық тиімді қозғалтқыштарда ротордың өткізгіш материалының жиынтық саны стандартты бұйымдарға қарағанда аз. Магниттік кезде, қозғалтқыш жүйесі жоғарғы қанығу шегі бар болғанда, бұл заң бұзылады.

5 Муфтаның серпімділігін және өзгеруін ескере отырып, іске қосуды зерттеу асинхронды қозғалтқыштың параметрлері, өтпелі процесс уақытының айтарлықтай қысқаруына әкеп соқты.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Абрамкин, Ю. В.** Электрмагниттік өрісте энергияны түрлендірудің және пондеромоторлы және электр қозғаушы күштердің теориясы мен есебі [Текст] // МЭИ Баспасы, 1997. – 208 б.

2 **Максвелл, Д. К.** Электромагниттік өріс теориясы бойынша таңдамалы шығармалар [Текст]. – М. : Гостехиздат, 1954. – 688 б.

3 **Тамм, И. Е.** Электр теориясының негіздері тоғызыншы басылым [Текст]. – Ғылым, 1976. – 620 б.

4 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электр машиналарындағы электромагниттік күштер және энергияның түрленуі: әдістемелік нұсқау «Электромеханика» [Текст]. – М. : Жоғ. мект., 1989. – 312 б.

5 **Вольдек, А. И.** Электр машиналары: жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған оқулық [Текст]. – Л. : Энергия, 1974. – 840 б.

6 **Геллер, Б., Гамата, В.** Асинхронды машиналардағы жоғарғы гармониктер [Текст]. – Энергия, 1981. – 352 б.

7 **Брынский, Е. А.** Электр машиналары: жоғары оқу орындарына арналған оқулық [Текст]. – М. : Энергия, 1980. – 928 б.

8 **Копылов, И. П.** Электр машиналары: жоғары оқу орындарына арналған оқулық [Текст]. – М. : Логос, 2000. – 607 б.

9 **Костенко, М. П., Пиотровский, Л. М.** Электр машиналары [Текст]. – Л. : Энергия, 1973. – 648 б.

10 **Кравчук, А. С.** Электр машиналары [Текст]. – Мемэнергоиздат, 1963. – 416 б.

REFERENCES

1 **Abramkin, Y. V.** Teoriya i raschet preobrazovaniya energii v elektromagnitnom pole i ponderomotornyh i elektrovizhushchih sil [Theory and calculation of energy conversion and ponderomotor and Electromotive forces in the electromagnetic field]: Izd-vo MEI, 1997. – 208 p.

2 **Maxwell, D. K.** Izbrannye proizvedeniya po teorii elektromagnitnogo polya [Selected works on the theory of the electromagnetic field]. – Moscow : Gostekhizdat, 1954. – 688 p.

3 **Tamm, I. E.** Osnovy teorii elektrichestva devyatoe izdanie [Fundamentals of electrical theory ninth edition]. – М.: Gylım, 1976, 620 p.

4 **Ivanov-Smolensky, A. V.** Elektromagnitnye sily i preobrazovaniya energii v elektricheskikh mashinah: metodicheskie ukazaniya «Elektromekhanika» [Electromagnetic forces and energy conversion in electric machines: methodological guide «Electromechanics»]. – М. : Vyssh. shk., 1989. – 312 p.

5 **Voldek, A. I.** Elektricheskie mashiny: uchebnik dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij [Electric cars: a textbook for students of higher educational institutions]. – Л. : Energiya, 1974. – 840 p.

6 **Geller, B., Gamata, V.** Verhnie garmoniki na asinhronnyh mashinah [Upper harmonics in asynchronous machines] : Energiya, 1981. – 352 p.

7 **Brynsky, E. A.** Elektricheskie mashiny: uchebnik dlya vuzov. – М. : Energiya [Electric cars: a textbook for students of higher educational institutions], 1980. – 928 p.

8 **Kopylov, I. P.** Elektricheskie mashiny: uchebnik dlya vuzov [Electric cars: a textbook for students of higher educational institutions].– М. : Logos, 2000. – 607 p.

9 **Kostenko, M. P., Piotrovsky, L. M.** Elektricheskie mashiny [Electric machines]. – Л. : Energiya, 1973. – 648 p.

10 **Kravchuk, A. S.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] : Memenergoizdat, 1963. – 416 p.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

*А. К. Мукам

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКО ЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В данной статье представлена теоретическая модель двигателей, наиболее часто используемых в современных системах электропривода способ повышения энергоэффективности асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Они широко распространены в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и быту. Теория этих электрических машин стройно и логично изложена в учебниках отечественных и зарубежных авторов, которые являются крупными и широко известными учеными, конструкторами и профессорами высших учебных заведений. Прежде чем приступить к изучению данной проблемы, прежде всего, давайте разберемся, какие существуют рекомендации по проектированию роторных пазов в бейсинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором. Во-первых, имеются объемные данные по проверенному рациональному количеству роторных пазов с многолетним опытом производства этих изделий. Другими словами, техническая литература содержит конкретные рекомендации по количеству пазов ротора и их росписи для любого требуемого случая. Во-вторых, площадь всех пазов Ротора должна быть еще больше. Однако такой прямой ссылки нет, но это расчетное отношение определяется ходом выпуска, а активные

помехи Ротора негативно влияют на способность асинхронного двигателя к эффективному электромагнитному преобразованию.

Ключевые слова: двигатель, ротор, статор, энергоэффективность

*А. К. Мукам

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 15.09.22.

A METHOD FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH A SHORT-CIRCUITED ROTOR

This article presents a theoretical model of motors that are most commonly used in modern electric drive systems to improve the energy efficiency of asynchronous motors with a short-circuited rotor. They are widely used in industry, construction, agriculture and everyday life. The theory of these electric machines is harmoniously and logically stated in the textbooks of domestic and foreign authors, who are large and widely known scientists, designers and professors of higher educational institutions. Before we start studying this problem, first of all, let's figure it out, what are the recommendations for the design of rotary slots in asynchronous motors with a short-circuited rotor? Firstly, there is voluminous data on the proven rational number of rotary slots with many years of experience in the production of these products. In other words, the technical literature contains specific recommendations on the number of rotor slots and their painting for any required case. Secondly, the area of all the slots of the Rotor should be even larger. However, there is no such direct reference, but this calculated ratio is determined by the course of the release, and active rotor interference negatively affects the ability of the asynchronous motor to effectively electromagnetic conversion.

Keywords: motor, rotor, stator, energy efficiency.

<https://doi.org/10.48081/RPOK3424>

***А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова², Е. В. Приходько³,
Н. М. Арипова⁴, А. Е. Карманов⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ РАБОТЫ ФУТЕРОВОК РАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

В статье рассмотрены основные причины, из-за которых происходит разрушение футеровки разливочного ковша ферросплавного производства. Рассмотрена футеровка ковша, выполненная из шамотных кирпичей и изготовленная в два слоя без теплоизоляции. Для оценки степени износа футеровки были использованы: термографическое исследование с помощью тепловизора и обследование внутренней поверхности разливочного ковша.

По результатам исследования, износ огнеупорных материалов наблюдается в районе шлакового пояса и в месте попадания струи выпускаемого металла на стенки ковша. Наиболее значительный износ футеровки наблюдается в зоне шлакового пояса, где кроме химического воздействия шлака имеется влияние температурных напряжений. В целом же, износ футеровки по высоте ковша равномерный, с основными дефектами в виде сколов. Причина образования сколов – температурные напряжения, возникающие при высоких скоростях нагрева или охлаждения.

Стойкость ковшей с рабочим слоем из шамотного кирпича составляет в среднем 5-8 плавов, при этом скорость износа около 5 мм за плавку. Разливочные ковши выводятся на частый промежуточный ремонт из-за неравномерности износа шлакового пояса, образования двух зон локального износа под настелью, образующейся на границе «шлак-металл». Средняя остаточная толщина огнеупоров перед промежуточным ремонтом 65 мм, при начальной толщине 80 мм.

Ключевые слова: разливочные ковши, футеровка, износ, охлаждение, температурные напряжения.

Введение

В металлургической отрасли основной задачей является получение готовой продукции с нужными характеристиками при небольших затратах

на ее производство. Следовательно, оптимизация затрат на огнеупорные материалы для футеровки тепловых агрегатов достаточно актуальна. Одна из самых значимых статей затрат огнеупоров при производстве металла — затраты на футеровку разливочных ковшей.

На сегодняшний день на футеровку разливочных ковшей расходуется около 45 % всех огнеупорных материалов, используемых на предприятиях металлургии [1].

Разливочный ковш относится к важному оборудованию металлургического производства и применяется для приема, транспортировки, обработки стали в ковше и ее разливки. Без надежной эксплуатации разливочного ковша ритмичная работа цеха невозможна. В то же самое время надежность работы разливочного ковша в большей степени зависит от стойкости футеровки.

При подборе огнеупорных материалов главным образом определяется стойкость наиболее изнашиваемых элементов, разрушение которых определяет эксплуатационные показатели работы ковша в целом.

Получение стабильно высоких показателей стойкости футеровки, надежной и безаварийной ее работы является сложной задачей в связи с невозможностью избежать зон локального износа огнеупоров (таких как выработка по уровню металл/шлак, стык стена/шлаковый пояс) на определенном этапе после промежуточного ремонта и др. В работах [2-3] рассматриваются факторы, влияющие на износ футеровки металлургических агрегатов.

Материалы и методы

Футеровка разливочных ковшей ферросплавного производства выполняется в два слоя из шамотного кирпича ШКУ-32. Его толщина зависит от емкости ковша и, как правило, для больших емкостей составляет не менее 180 мм. В рассматриваемом случае толщина футеровки составляет 160 мм. Футеровка днища выкладывается еще дополнительными рядами кирпичей, чтобы компенсировать повышенное разрушение в результате более длительного контакта с расплавленным металлом. Толщина футеровки днища шамотным кирпичом для больших ковшей – не менее 345 мм.

Во время эксплуатации скорость износа вышеперечисленных зон достаточно сильно различается между собой и в несколько раз превышает скорость износа остальных участков футеровки ковша. Поэтому повышенный износ одной из зон предполагает вывод ковша из эксплуатации с целью локального ремонта футеровки или ее полной замены. При этом полная замена футеровки приводит к значительному увеличению удельных затрат на огнеупоры.

Рассмотрим условия эксплуатации и основные причины износа футеровки разливочных ковшей ферросплавного производства.

Из собранных данных, по характеру износа футеровки и огнеупорных элементов разливочных ковшей, выделим наиболее быстро и неравномерно изнашиваемые зоны:

- зона шлакового пояса и область, прилегающая к шлаковому поясу снизу;
- зона контакта футеровки со сливаемым из печи металлом.

Одним из универсальных способов оценки неравномерности износа футеровки является тепловизионное обследование. Использование тепловизионного обследования высокотемпературных агрегатов позволяет не только определить проблемные участки футеровки, но и оценить её остаточный ресурс. Анализ термограмм, проводимый совместно с обследованием внутреннего состояния футеровки, позволяет определить причины разрушения футеровки, а при проведении ряда тепловизионных обследований – динамику и скорость износа огнеупоров при различных режимах работы оборудования.

Методика оценки состояния футеровки по данным, получаемым от тепловизоров, широко используется в промышленности [5-7].

Проведённое термографическое обследование (рисунок 1) показывает, что износ футеровки внутренней поверхности разливочного ковша достаточно равномерный. Среди зон с износом, большим, чем средний износ по футеровке, можно выделить: зону шлакового пояса, сливного носика, а также бойная зона стенки ковша (рисунок 2).

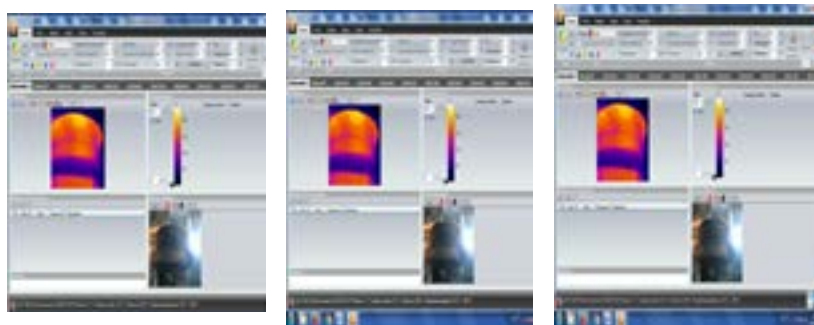


Рисунок 1 – Поле температур кожуха ковша

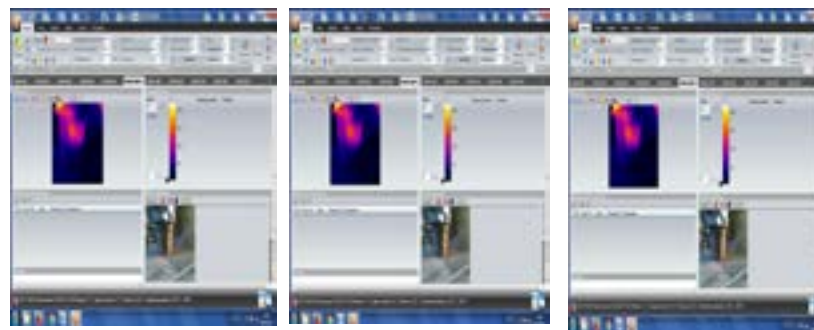


Рисунок 2 – Зона повышенных температур в области бойной части стенки ковша

Разрушение футеровки, которое можно оценить посредством анализа термограмм, можно разделить на следующие основные виды:

- разрушение под действием температурных напряжений;
- разрушение за счёт химического действия агрессивной среды (как правило, шлака);
- разрушение вследствие механических воздействий ремонтного персонала и технологического материала.

Результаты и обсуждения

Обследование внутренней футеровки разливочных ковшей показало, что значительный износ футеровки имеется в зоне шлакового пояса, где кроме химического воздействия шлака имеется влияние температурных напряжений (рисунок 3).



Рисунок 3 – Состояние внутренней поверхности футеровки ковша перед выводом в ремонт

В целом же, износ футеровки по высоте ковша равномерный, с основными дефектами в виде сколов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Износ шамотной футеровки разливочного ковша

Причина образования сколов – температурные напряжения, возникающие при высоких скоростях нагрева или охлаждения. Разрушение огнеупорного материала происходит вследствие возникновения в нём напряжений, вызванных перепадом температур, величина которых превышает предел прочности используемых материалов.

Быстрое охлаждение сопровождается раскрытием швов с «горячей» стороны и вертикальными трещинами по торцу огнеупора (рисунок 4) [7]. Возможны также сколы торцевых поверхностей огнеупора из-за образования трещин в толщине огнеупора при возникновении предельных напряжений в толщине огнеупора, вызванных разницей линейных и объемных расширений охлаждаемого обезуглероженного и необезуглероженного слоев с «горячей» стороны.

Таким образом, термические нагрузки, связанные с охлаждением футеровки и последующим нагреванием при выпуске металла способствуют возникновению в кладке значительных термических напряжений и, как следствие, развитию локального износа рабочего слоя футеровки разливочного ковша. В процессе эксплуатации ковша с каждой последующей плавкой прочностные характеристики футеровки ухудшаются, и при превышении термических напряжений над прочностью огнеупора происходит его разрушение, что приводит к образованию сколов и трещин на швах кладки, футеровка изнашивается.

Стойкость ковшей с рабочим слоем из шамотного кирпича составляет в среднем 5-8 плавов, при этом скорость износа около 5 мм за плавку.

Разливочные ковши выводятся на частый промежуточный ремонт из-за неравномерности износа шлакового пояса, образования двух зон локального износа под настылью, образующейся на границе «шлак-металл». Средняя остаточная толщина огнеупоров перед промежуточным ремонтом 65 мм, при начальной толщине 80 мм (рисунок 5).



Рисунок 5 – Остаточная толщина отработанной футеровки ковша по шлаковому поясу

Огнеупоры стен и днища разливочных ковшей не вырабатывают свой ресурс эксплуатации. В таблице 1 приведены данные по промежуточному ремонту разливочных ковшей.

Таблица 1 – Данные по промежуточному ремонту футеровок ковшей в 2021-2022 г.

Номер разливочного ковша	Дата ремонта	Стойкость рабочей футеровки стен и дна, плавов	Причина вывода разливочного ковша из работы
11	17.01.2021	4	Стена
26	17.01.2021	3	Шлаковый пояс, стена
38	19.01.2021	5	Стена
29	20.01.2021	5	»
20	20.01.2021	5	»
11	24.01.2021	4	Шлаковый пояс, стена

26	24.01.2021	6	Шлаковый пояс, стена
38	26.01.2021	6	Стена
20	27.01.2021	7	»
29	27.01.2021	5	»
37	27.01.2021	5	»
39	27.01.2021	6	»
26	01.02.2022	3	Шлаковый пояс, стена
29	01.02.2022	4	»
11	03.02.2022	4	»
29	04.02.2022	2	»
37	04.02.2022	5	»
39	04.02.2022	5	Стена+подина
37	07.02.2022	4	Стена
38	07.02.2022	4	»
11	08.02.2022	3	»
37	08.02.2022	4	»

Из таблицы видно, что стойкость футеровки разливочных ковшей очень низкая. Разница между промежуточными ремонтами некоторых ковшей составляет 3-4 дня. Одна из частых причин вывода ковшей на ремонт, разрушение футеровки в зоне соприкосновения со шлаковым расплавом.

Механическое воздействие на футеровку при удалении настыли также оказывает влияние на стойкость футеровки. Оценить влияние данного фактора достаточно сложно, так как он включает не только толщину образовавшейся настыли, но и профессиональные навыки эксплуатационного персонала. Поэтому основная задача по снижению влияния этого фактора на стойкость футеровок – это рационализация температурных режимов для снижения образования настыли.

Таким образом, снижение износа огнеупоров футеровки в значительной степени будет зависеть от тепловых режимов её работы, рационализация которых позволит не только снизить разрушение футеровки вследствие перепадов температур, но и снизить образование настыли.

Термоудар, как резкое изменение температуры объекта, провоцирует возникновение термомеханических напряжений в футеровках металлургического оборудования. Причиной возникновения напряжений является термическое расширение или сжатие материала футеровки. Ввиду

сравнительно низкой теплопроводности большинства керамических и огнеупорных материалов (менее 10 Вт/(м·К)) [4] при одностороннем тепловом воздействии, внутри футеровки возникает (или резко изменяется) градиент температур. Причем, разность температур в точках, отстоящих друг от друга на несколько миллиметров, может составить сотни градусов. Резкое изменение температуры рабочей поверхности футеровки обусловлено тем, что зачастую металл, с температурой 1550–1700 °С подается в агрегат, поверхность футеровки которого имеет температуру от 20 °С (без предварительного подогрева) до 900 °С (после разогрева) [8]. В другом случае, в аппарат, разогретый после обработки металла до температуры, близкой к температуре металлического расплава, попадает атмосферный воздух, температура которого составляет от – 40 °С до + 40 °С в зависимости от времени года.

Окончательным этапом, при котором возникают значительные термоудары, является охлаждение. В этот период объемные и линейные расширения изделий, различающиеся в радиальном направлении в зависимости от глубины прогретости огнеупора от «горячей» стороны к «холодной», значительны. Они обусловлены высокой температурой и присутствием значительного диффузионного слоя, как обезуглероженного, так и частично пропитанного продуктами плавки. Разность температур футеровки и окружающей среды в начальный момент охлаждения в помещении цеха может составлять сотни градусов. К примеру, зафиксированная нами температура воздуха в цехе составила минус два градуса, при этом температура внутренней поверхности футеровки после слива металла была на уровне 1250 °С.

Установлено, что при термоударе, сопровождающем резкий разогрев, сжимающие напряжения носят экстремальный характер и приводят к появлению поверхностных трещин глубиной до 5 мм [9]. Определен момент появления этих трещин (через 1–3 с после заливки металла). При термоударе, сопровождающем резкое охлаждение, нагрузка возрастает монотонно. На материал в этом случае действуют растягивающие напряжения, приводящие к образованию редких глубоких трещин в огнеупоре. Глубина таких трещин может достигать 120 мм; время образования трещин – 7-10 секунд от начала охлаждения [9].

Проведенный анализ состояния поверхности футеровки показал, что на поверхности огнеупоров рабочего слоя имеются отдельные трещины, длиной до 25 мм и глубиной до 8 мм (рисунок 6). Это позволяет говорить о причине их возникновения – температурных напряжениях.

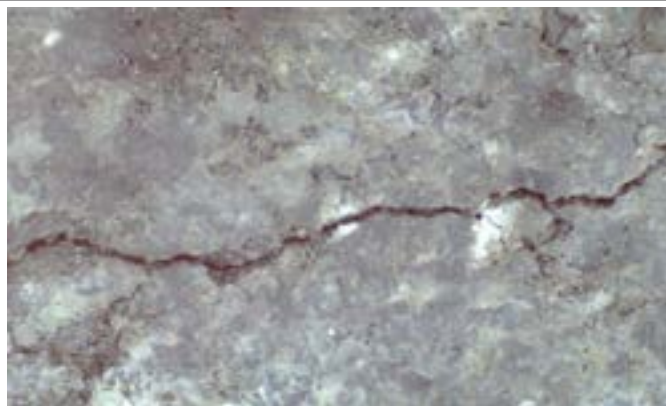


Рисунок 6 – Образование трещины на поверхности футеровки

Выводы

Проведённые термографический анализ и обследование футеровки разливочных ковшей показали, что разрушение огнеупоров за счёт химического воздействия шлака имеет локальный характер и актуально только для огнеупоров шлакового пояса. Причина разрушения остальных огнеупоров – температурные напряжения, вызванные перепадом температур.

Периодические нагрузки, связанные с охлаждением футеровки и последующим нагреванием при выпуске металла в ковш способствуют возникновению в кладке значительных термических напряжений и, как следствие, развитию износа шамотной футеровки разливочного ковша. В ходе эксплуатации разливочного ковша с каждой последующей плавкой прочностные характеристики футеровки ухудшаются, и при превышении термических напряжений над прочностью огнеупора происходит его разрушение, что приводит к образованию сколов и трещин на границах (швах) кладки. Особое внимание футеровки заслуживает в результате высокой частоты появления, отсутствия прогноза зоны появления дефекта, ограничения рабочего цикла всего ковша, сложности визуальной оценки вследствие ошлаковывания поверхности, высокой вероятности аварийной ситуации (прогара ковша).

Процесс охлаждения разливочных ковшей также идёт со значительными перепадами температур, отрицательно влияющих на стойкость футеровки. При этом зачастую процессу охлаждения не уделяется должного внимания и сам процесс ведётся без применения дополнительных устройств посредством охлаждения в условиях атмосферы цеха. Таким образом, следующей задачей исследования будет являться рационализация процессов охлаждения для

недопущения скоростей охлаждения при которых происходит образование микротрещин и разрушение огнеупоров.

«Исследование финансируется комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP14869073)».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Очагова, И. Г., Аксельрод, Л. М., Мизин, В. Г., Филяшин, М. К.** Совершенствование футеровки ковшей для разливки и внепечной обработки стали за рубежом. Сталеразливочный ковш – объект энергосбережения [Текст.] // Новые огнеупоры. – 2002, – №3 – С.52–55.

2 **Коваленко, А. Г., Рябый, Д. В., Смирнов, А. Н.** Влияние металлургических факторов на стойкость рабочей футеровки сталеразливочных ковшей [Текст] // Металл и литье Украины. – 2016. – № 11/12 (282/283). – С. 14–17.

3 **Съёмщиков, Н. С.** Разработка футеровки сталеразливочных ковшей (обзор опыта работы) [Текст] / Н. С. Съёмщиков, А. А. Кондрукевич, К. Н. Бельмаз, Я. А. Минаев // Новые огнеупоры. – 2013. – № 7. – С. 3–8.

4 **L. Le Guen, F. Huchet** (2020) Thermal imaging as a tool for process modelling: application to a flight rotary kiln, Quantitative InfraRed Thermography Journal, 17:2, 79-95, DOI: 10.1080/17686733.2019.1611222

5 Rippon, Lee, Hirtz, Barry, Sheehan, Carl, Reinheimer, Travis, Loewen, Philip and Gopaluni, Bhushan. «Visualization of multiscale ring formation in a rotary kiln» Nordic Pulp & Paper Research Journal, vol. 36, no. 4, 2021, pp. 549-558. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0048>

6 **Lin, C., Yi, Z., Jiang, Z.** An alumina rotary kiln monitoring system based on flame image processing. Transactions of the Institute of Measurement and Contro. 2019;41(10):2764-2771. doi:[10.1177/0142331218810085](https://doi.org/10.1177/0142331218810085)

7 Michael, Hampel. Beitrag zur Eigenschaftsbewertung von feuerfesten Magnesiakohlenstoffzeugnissen: Dissertation / Technische Universität Bergakademie Freiberg. — Freiberg, 2010. – 226 s.

8 **Рябый, Д. В., Кондрукевич, А. А.** Изучение локального (дырочного) износа периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочного ковша [Текст] // Новые огнеупоры. – 2016, – №1 – С.6–7.

9 **Аксельрод, Л. М., Заболотский, А. В.** Математическое моделирование разрушения футеровок металлургического оборудования под действием термоударов [Текст] // Современная наука. – 2016, – № 2 (4) – С.165–169.

10 **Кашеев, И. Д.** Свойства и применение огнеупоров [Текст] // – М. : Теплотехник, – 2004.– 352 с.

REFERENCES

1 **Ochagova, I. G., Akselrod, L. M., Mizin, V. G., Filiashin, M. K.** Sovershenstvovanie fyterovki kovshei dlia razlivki i vneprechnoi obrabotki stali za rybejom. Stalerazlivochnyi kovsh – obekt energosberejennia [Perfection of bucket lining for casting and interior finishing of steel abroad. Steel filling bucket-energy saving object] [Text] // New refractories. – 2002. – №3 – P.52–55.

2 **Kovalenko, A. G., Riabiy, D. V., Smirnov, A. N.** Vlianie metallýrgicheskikh faktorov na stoikost rabochey fyterovki stalerazlivochnykh kovshei [The influence of metallurgical factors on the durability of the working lining of steel ladle] [Text] // Metal and casting of Ukraine. – 2016. – № 11/12 (282/283). – P. 14–17.

3 **Sëmikov, N. S., Kondrýkevich, A. A., Belmaz, K. H., Minaev, Ia. A.** Razrabotka fyterovki stalerazlivochnykh kovshei (obzor opyta raboty) [Development of lining of steel filling buckets (review of work experience)] [Text] // New refractories, – 2013. – № 7. – P. 3–8.

4 **L. Le Guen, F. Huchet.** Thermal imaging as a tool for process modelling: application to a flight rotary kiln, Quantitative InfraRed Thermography Journal 2020, 17:2, 79-95, DOI: 10.1080/17686733.2019.1611222

5 **Rippon, Lee, Hirtz, Barry, Sheehan, Carl,** Reinheimer, Travis, Loewen, Philip and Gopaluni, Bhushan. «Visualization of multiscale ring formation in a rotary kiln» Nordic Pulp & Paper Research Journal, vol. 36, no. 4, 2021, pp. 549–558. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0048>

6 **Lin, C., Yi Z, Jiang, Z.** An alumina rotary kiln monitoring system based on flame image processing. Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2019;41(10):2764-2771. doi:[10.1177/0142331218810085](https://doi.org/10.1177/0142331218810085)

7 **Michael, Hampel.** Beitrag zur Eigenschaftsbewertung von feuerfesten Magnesiakohlenstoffzeugnissen: Dissertation / Technische Universität Bergakademie Freiberg. – Freiberg, 2010. – 226 p.

8 **Riabiy, D. V., Kondrýkevich, A. A.** Izýchenie lokalnogo (dyrochnogo) iznosa periklazoýglerodistoi fyterovki stalerazlivochnogo kovsha [Study of local (hole) wear of the periclase-carbon lining of the steel ladle] [Text] // New refractories. – 2016, – №1 – P.6–7.

9 **Akselrod, L.M., Zabolotski, A.V.** Matematicheskoe modelirovaniye razrýsheniya fyterovok metallýrgicheskogo oborýdovaniyapod deystviem termoýdarov [Mathematical modeling of the destruction of the lining of metallurgical equipment under the action of thermal shocks] [Text] // Modern science. – 2016. – № 2 (4) – P.165–169.

10 **Kashcheev, I. D.** Svoistva i primeneniye ogneyorov: spravochnoye izdanie [Properties and application of refractories: reference edition] M. : Heat engineer, –2004. – 352 p.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

**А. С. Никифоров¹, А. К. Кишжибекова², Е. В. Приходько³,
Н. М. Арипова⁴, А. Е. Карманов⁵*

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ҚҰЮ ШӨМІШТЕРІНІҢ ФУТЕРОВКАСЫНЫҢ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ

Мақалада ферроқорытпа өндірісінің құю шөмішінің футеровкасының бұзылуының негізгі себептері қарастырылады. Қарастырылған шөміш футеровкасы екі қабатта, жылу оқшаулағышысыз шамоттық кірпіштерден орындалған. Футеровканың тозу дәрежесін бағалау үшін: жылу тепловизор көмегімен термографиялық зерттеу және құю шөмішінің ішкі бетін тексеру жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері бойынша отқа төзімді материалдардың тозуы илак белдеуі ауданында және шығарылатын металл ағынының шөміш қабырғаларына түскен жерінде байқалады. Футеровканың едәуір тозуы илак белдеуінің аймағында байқалады, мұнда илақтың химиялық әсерінен басқа температура кернеулерінің әсері бар. Жалпы алғанда, шөміштің биіктігі бойынша футеровканың тозуы біркелкі, кетіктер түрінде негізгі ақаулары бар. Кетіктердің пайда болу себебі – жоғары қыздыру немесе салқындату кезінде пайда болатын температура кернеуі.

Отқа төзімді шамоттық кірпіштен жасалған жұмыс қабаты бар шөміштердің тұрақтылығы орташа есеппен 5-8 балқытуды құрайды, ал тозу жылдамдығы бір балқыту үшін 5 мм құрайды. Құю шөміштері илак белдеуінің біркелкі емес тозуына, «илак-металл»шекарасында пайда болатын, тұнба астында жергілікті тозудың екі аймағының пайда болуына байланысты жиі аралық жөндеуге шығарылады. Аралық жөндеу алдында отқа төзімді заттардың орташа қалдық қалыңдығы 65 мм, бастапқы қалыңдығы 80 мм.

Кілтті сөздер: құю шөміштері, футеровка, тозу, салқындату, температура кернеуі.

*A. S. Nikiforov¹, A. K. Kinzhibekova², E. V. Prikhodko³,

N. M. Aripova⁴, A. E. Karmanov⁵

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.09.22.

ANALYSIS OF THE LINING OF FILLING LADLES

The article discusses the main reasons for the destruction of the lining of the casting ladle of ferroalloy production. The lining of the ladle, made of fireclay bricks, made in two layers without thermal insulation, is considered. To assess the degree of wear of the lining, the following were used: a thermographic study using a thermal imager and an examination of the inner surface of the pouring ladle. According to the results of the study, the wear of refractory materials is observed in the area of the slag belt and in the place where the jet of produced metal hits the walls of the ladle.

The most significant wear of the lining is observed in the zone of the slag belt, where, in addition to the chemical impact of slag, there is the influence of thermal stresses. In general, wear of the lining along the height of the ladle is uniform, with the main defects in the form of chips. The reason for the formation of chips is thermal stresses that occur at high heating or cooling rates.

The durability of ladles with a working layer of fireclay bricks averages 5-8 melts, while the wear rate is about 5 mm per melt. Casting ladles are taken out for frequent intermediate repairs due to the uneven wear of the slag belt, the formation of two zones of local wear under the build-up formed at the slag-metal boundary. The average residual thickness of refractories before intermediate repairs is 65 mm, with an initial thickness of 80 mm.

Keywords: filling ladles, lining, wear, cooling, temperature stresses.

FTAMP 44.39.29

<https://doi.org/10.48081/WSSP8459>

***Д. К. Оразова¹, Р. Е. Лукпанов², Ж. К. Сапенова³,
Г. Т. Тлеуленова⁴**

^{1,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{2,4,5}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖЕЛ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ МЕН ІРГЕТАСЫН ЗЕРТТЕУ

Мақалада Қазақстандағы, атап айтқанда Ерейментау ауданының гидрогеологиялық жағдайында жел энергетикалық қондырғының (ЖЭҚ) негіздері мен іргетасын зерттеу сұрақтары қарастырылған. Қазақстан аумағында жел электр станциясының құрылысының мәселелері қарастырылған. Жел жылдамдығының категориясы бағаланды.

Құрылыс Нормалары және Ережелерінің техникалық талаптарына сәйкес келетін инженерлік-геологиялық шарттарға келетін іргетас сипаттамасы келтірілген. Аумақтың инженерлік-геологиялық құрылымының қабаттары бейнеленген.

Зерттелетін алаңдарында негіз топырағында алынған инженерлік геологиялық элементтердің физика-механикалық қасиеттері көрсеткіштерімен сипатталған.

Ғимараттар мен құрылыстардың әсер асты бөлігін тұрғызумен байланысты технологиялық процестерді нәтижелі цикл жұмыстарының құрамына топырақты өңдеу және іргетастарды құру технологиялық процестері көрсетілген.

ЖЭҚ іргетасы мен мұнараның табиғи өлшеулер нәтижесі бойынша ЖЭҚ жел қысымынан ЖЭҚ іргетасының вибрациялық параметрлеріне болжам жасалды.

Есептеулер зерттеу бойынша вертикаль, горизонталь және толық орын ауыстырулардың, салыстырмалы деформация мен қалыптат жанама және толық кернеудің мәндері көрсетілді.

Мақалада нормативтік стандарттарға сәйкес тақталық іргетас қарастырылған. Зерттеулер нәтижесі кесте мен суреттер

түрінде келтірілген. Іргетастың пішіндік өлшемдері шекті жағдайларды қамтамасыз етуге байланысты: көтеруші қабілет, іргетастың шөгуді және жалпы тұрақтылық мәндері бойынша алынды.

Кілтті сөздер: баламалы энергетика, ЖЭҚ, іргетас, жүктеме, кернеу.

Кіріспе

Қазақстанда жел электр станцияларын (ЖЭС) салу ең алдымен, қашықтағы аудандарды энергиямен қамтамасыз етуге арналған.

Энергияны үнемдеу жыл сайынғы көкейкесті проблемаға айналып келеді. Соңғы уақытта экологиялық көзқарас тұрғысынан қарағанда, климаттың өзгеруі және атмосферада көмірқышқыл газы (СО₂) құрамының үлкеюі салдарын жаңартылатын энергия көздеріне үлкен қызығушылық байқалады [1].

Қазақстанның барлық өңірлерінде энергетикалық қуаттарды орналастыру құрылымын ескере отырып, энергия артықшылығын қоспағанда (солтүстік аймақта шамамен 60 % генерациялайтын қуаттардың орналасқаны), электр энергиясы мен қуатының өңірлік тапшылығы сақталып келеді. Әсіресе, бұл шалғай аудандарға байланысты.

Осыған байланысты Қазақстанда жел электр станцияларын салу проблемасы туындайды, олар ең алдымен, электр желілеріне қосылмаған алыстағы аудандарды энергиямен қамтамасыз етуге арналған.

Берілген проблема шеңберінде ЖЭС-ның негіздері мен іргетастарының сенімділігін қамтамасыз ету мен оңтайландыру сұрақтары туындайды.

Қазақстан жел энергетикалық әлеуетін зерттегеннен кейін Қазақстан Республикасының Үкіметі БҰҰ даму Бағдарламасымен «Қазақстан - жел энергетика нарығын дамыту бастамасы» бірлесіп, Ақмола облысының Ерейментау ауданы үшін жел электр станция құрылысының келешегі зор екенін анықтады. Мысал ретінде Ақмола облысы картасын келтіреді, аумағының басым бөлігі орман өсімдіктері жоқ далалық типке жатады. Бұл жел электр станцияларын орналастыру шарттарының бірі болып табылады [2].

Жел жылдамдығының шамасы бірнеше категория бойынша бағаланды, сандық мәндері 1 кестеде келтіріледі. Бұл критерийлер экономикалық жағынан расталуы желдің жылдамдығы 4-5 м/с асуы тиіс деген шарттан жасалынды.

1-кесте – Жел жылдамдығы категориясын бағалау

Категориясы	Төмен	Қара пайым	Жақсы	Жоғары	Айрықша
Жел жылдамдығының көп мерзімді шамасы, м/с	< 6	6 - < 7	7 - < 8	8 - < 9	> 9

Материалдар мен әдістер

Құрылыс алаңдары үшін инженерлік-геологиялық жағдайлардың үлкен айырмашылығына қарамастан ЖЭҚ іргетасы ретінде әдетте екі түрінің біреуін пайдаланады:

- ұсақ орнатулы тұтасқұймалы темірбетон іргетас;
- қадалы іргетас, тұтасқұймалы темірбетон ростквертен (плиталар) және қадалардан (бетон немесе темір) тұратын олардың бастары ростверкке салынған [3].

Ұсақ салынатын іргетас үшін ашық қазаншұңқырда шағын тереңдікке еңгізу. Ұсақ салынатын іргетастан негізге түсетін жүктеме, көбінесе іргетас табаны арқылы беріледі. Іргетастың еңу тереңдігі ескере отырып, тағайындалады:

- іргетас табаны астындағы негізіне жүктемелер мен әсер етулер, жер бедері, құрылыс алаңдарының инженерлік-геологиялық, гидрогеологиялық және геотехникалық жағдайлары;
- топырақ негізінің маусымдық қатуының есептік тереңдігі мен жер асты сулары деңгейінің тереңдігі (ҚР ҚНЖЕ 5.01-01-2002).

ЖЭҚ құрылыс алаңы ҚР Ақмола облысында кең аумағында орналасқан. Басты жер бедерінің пішіндеріне тау жыныстарымен тығыз қосылған күмбез тәрізді шоқылар болып табылады [4, 5].

Ақмола обласының территориясы ҚР ҚНЖЕ 2.03-30-2006 «Сейсмикалық аудандардағы құрылыс, жобалау нормаларына» сәйкес сейсмикалық ауданға жатпайды.

ЖЭҚ алаңы негіз топырағы сейсмикалық қасиеттері бойынша екінші категориялы болады. Құрылыс алаңының анықталған сейсмикасы 7 балды құрайды.

МСН 2.03–02–2002 талаптарына сәйкес оның территориясы мен имараттарда жобалауда инженерлік қорғанысты талап ететін қауіпті геологиялық процестер анықталған жоқ.

Нормативтік тондану тереңдігі саздақ пен саз үшін – 1.84 м, қиыршық тасты ұсақ тасты топырақ үшін – 2.67 м.

Қар жамылғысы салмағының нормативтік мәні – 1.26 кПа.

Жел қысымының нормативтік мәні – 0.38 кПа.

«ҚР Ақмола облысының қуаты 45 МВт Ерейментау ЖЭС» инженерлік іздестірулердің техникалық есебі бойынша ЖЭҚ-6...ЖЭҚ-10 геологиялық құрылысы алаңдарында мынадай инженерлік-геологиялық қабаттар орналасқан:

ИГЭ-1 – топырақ-өсімдік қабат – өсімдік тамырлары бар саздақ.

ИГЭ-2 – ұсақ тастың қосылуымен қатты консистенциялы, ақшыл-қоңыр түсті саздақ қабаты.

ИГЭ-3 – 5-10 % ұсақ тастың қосылуымен, әр түрлі құмның қабаттануымен, қатты және жартылай қатты консистенциялы, сарғыш-сұр түсті құба-қоңыр түсті саз балшық.

ИГЭ-4 – толтырғышы 30 % саздақ қосылуымен ұсақ тас.

ИГЭ-5 – толтырғышы 30 % саздақ қосылуымен кварциттердің қиыршық тас топырағы.

ИГЭ-6 – 20-30 % ұсақ тас пен қиыршықтас қосылуымен, ақшыл-сұр, қызғылт және сары түсті, қатты консистенциялы элювиалды саздақ.

ИГЭ-7 – қызғылт-қоңыр, ақшыл-қоңыр және қара-сұр түсті, желдеткен, орта беріктігі жартасты топырақ-кварциттер (қиыршықтас топырақ).

ИГЭ-8 – ақшыл-сұр түсті, желдеткен, аз беріктікті, желмен мүжілген жартасты топырақ-аргиллиттер, (қиыршықтас топырақ) [6].

2-кесте – ЖЭҚ алаңында жер асты суларының орналасуы

Ж Э Қ алаңының нөмері	Сынаманы химиялық талдау	Судың жайғасу сипаттамасы		Сутұтқыш инженерлік-геологиялық элемент	Жер асты сулардың түрі
		Орналасу деңгейінің тереңдігі, м	Жер асты сулары деңгейінің абс. белгісі		
10		13,50-13,80	399,06 - 400,12	ИГЭ-3	грав. капил

Зерттелетін алаңдарында негіз топырағында алынған инженерлік геологиялық элементтер физика-механикалық қасиеттері бірдей көрсеткіштерімен сипатталады.

Нәтижелер және талқылау

Ерейментау қаласы аумағындағы жел энергетикалық қондырғысының тақталы іргетасындағы құрылыс кезеңдері 1 – суретте көрсетілген.

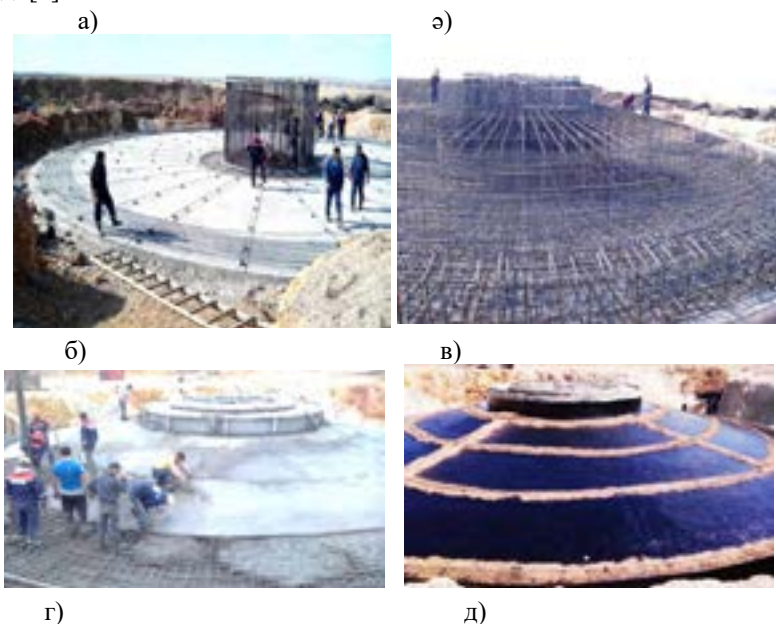
Құрылыстың дайындық кезеңі аяқталғаннан кейін бірінші кезеңнің – жерасты кезеңінің жұмыстары орындалады. Бұл кезең жұмыстарының құрамына жер жұмыстары (қазындыны қазу мен тығыздау үшін топырақты қайта салу), бетон және темірбетон жұмыстары (іргетасты орналастыру, бетонды дайындау), құрылыс конструкцияларының монтажі жатады. Екінші кезеңінде (жер беті кезеңі) құрылыс конструкцияларының орындалды.

Үшінші кезеңде негізінен тегістеу жұмыстары, едендерді орналастыру, арнайы монтаждық жұмыстар (электрмонтаждық), технологиялық құрылғылардың монтажі сияқты жұмыстар орындалды.

Ғимараттар мен құрылыстардың жер асты бөлігін тұрғызумен байланысты технологиялық процестерді нөлдік цикл жұмыстарының құрамына топырақты өңдеу және іргетастарды құру технологиялық процестері кіреді. Топырақты өңдеу алдында берілген аймақтарда негізгі жұмыстарды орындауға байланысты дайындық жұмыстарын орындалды [7].

Барлық құрылыс жұмыстары негізгі құрылыс заңы – Құрылыс нормалары мен ережелерінің (СНиП) талаптарына сәйкес жүргізілді. Сонымен қатар, жергілікті жағдайға байланысты жобалық-технологиялық құжат дайындалады: құрылысты ұйымдастыру жобасы (ПОС) және жұмыстарды ұйымдастыру жобасы (ППР).

2015 жылдан бастап қуаты 45 МВт Ерейментау жел электр станциясы пайдалануға берілді. Қазіргі таңда 22 жел электр қондырғысы іске қосылып, Екібастұз қаласының электр желілеріне қосылады да, Ерейментау қаласын, Еркеншілік кентін, сондай-ақ ішінара Астана қаласын электр энергиясымен жабдықтайды. Жылына 172 млн. кВт.сағ. астам көлемінде электр энергиясын өндіру көмірсутек отын шығынсыз 60 мың тоннадан аса көмірді үнемдеуге, аймақтағы электр энергиясын жеткізудің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді [8].





- а) анкерлік корзинаны жинақтау; ә) металлдық қалыпты орнату;
 б) іргетасқа бетон құю процесі; в) дайын тақталы іргетас;
 г) жел электр қондырғысы; д) салынған жел электр қондырғылары.
 1-сурет – ЖЭҚ тақталы іргетас құрылысы кезеңдері

ЖЭҚ іргетасы мен мұнараның табиғи өлшеулер нәтижесі бойынша ЖЭҚ жел қысымынан ЖЭҚ іргетасының вибрациялық параметрлеріне болжам жасалды [9,10].

Берілген аймақ үшін максималды жел қысымының максималды параметрлер мәндері кұрайды:

- 1 Максималды орын ауыстыру $X=0,09$ мм, $Y=0,076$ мм, $Z=0,048$ мм;
- 2 Максималды үдеу $X=5,14$ м/с², $Y=2,24$ м/с², $Z=6,48$ м/с²;
- 3 Максималды вибрациялар жиілігі $X=450$ Гц, $Y=200$ Гц, $Z=480$ Гц;
- 4 Максималды вибрациялар жылдамдығы $X=7,8$ мм/с, $Y=9$ мм/с, $Z=11,8$ мм/с.

Қорытынды

Қорытындыда Қазақстан аймағындағы, соның ішінде Ерейментау қаласындағы жел электр қондырғылардың құрылысын, еліміздің тұрақты экономикалық дамуына ықпал ететін жасыл энергиямен байланысты жобалардың іске асыру маңыздылығын атап өтуге болады. Бұл жоба Астана қаласындағы ЕХРО – 2017 көрмесінде көрсетілген.

Осы ғылыми мақалада Ерейментау ауданындағы гидрогеологиялық жағдайлар негізінде жел энергетикасы қондырғысын (ЖЭҚ) жобалаудың кейбір аспектілері келтірілген.

ЖЭҚ іргетасы мен мұнараның табиғи өлшеулер нәтижесі бойынша ЖЭҚ жел қысымынан ЖЭҚ іргетасының вибрациялық параметрлеріне болжам жасалды.

Берілген аймақ үшін максималды жел қысымының максималды параметрлер мәндерін кұрады.

Табиғи бақылаулар нәтижесі бойынша іске қосылған ЖЭҚ сенімділігін бағалаудан кейін параметрлердің ең жоғары мәндерінің шығу мәліметтері алынды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Оразова, Д. К., Сапенова, Ж. К., Тлеубаева, А. К.** Қазақстандағы жел электр станцияларының құрылысына сараптама, Республикалық студенттік ғылыми конференциясы. – Қарағанды : Қарағанды мемлекеттік техникалық университет, 2016. – Ч.3. – Б. 33–34.

2 Национальная Программа развития ветроэнергетики в Республике Казахстан до 2015г. с перспективой до 2024 г. Проект Программы развития ООН и Правительства Казахстана «Казахстан – инициатива развития рынка ветроэнергетики». – Алматы; Астана, 2007.

3 Design of Foundations for Wind Turbines: master’s Dissertation by Henrik Svensson. – Sweden, 2010. – P. 7-10.

4 **Елистратов, В. В., Константинов, И. А., Панфилов, А. А.** Нагрузки на элементы ветроэнергетической установки, на ее фундамент и основание : учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2011. – 38 с.

5 **Елистратов, В. В., Константинов, И. А., Панфилов, А. А.** Расчет фундаментов ветроэнергетических установок. Монолитные железобетонные фундаменты мелкого заложения : учебное пособие. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2007. – Ч.1. – С. 9.

6 **Сапенова, Ж. К.** Қазақстандағы гидрогеологиялық жағдайдағы жел электрлі қондырғылы іргетастарды жобалаудың геотехникалық аспектісі : магистрлік диссертация. : – Астана : Гумилев атындағы ЕҰУ, 2017. –67 с.

7 **Оразова, Д. К.** Прогноз работы оснований и фундаментов ветровых энергетических сооружений : дис. ... док. фил. Ph.D. : – Астана : ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2016. – 174 с.

8 **Лукпанов, Р. Е., Оразова, Д. К.** Расчет фундамента ВЭУ в программном комплексе SCAD и Plaxis 2D в условиях г. Ерейментау // Научный журнал «Вестник» Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева. – 2014. – Т. 1, № 6 (103). – С. 117–122.

9 Status of Land – Based Wind Energy Development in Germany. – Germany : Deutsche WindGuard, 2014.

10 Concrete Structures for Wind Turbines. Jürgen Grunberg, Joachim Gohlmann. Germany – 2011.

REFERENCES

1 **Orazova, D. K., Sapenova, J. K., Tleubaeva, A. K.** Qazaqstandaғы jel elektr stansialarynyñ qūrylysyna saraptama, Respublikalyq studenttik ğylymi konferensiasy [Examination of the construction of wind power plants in Kazakhstan, Republican Student Scientific Conference] – Qarağandy : Qarağandy memlekettik tehnikalyq universitet, 2016. – Ch.3. – P. 33–34.

2 Nacional`naya Programma razvitiya vetroe`nergetiki v Respublike Kazaxstan do 2015g. s perspektivoj do 2024 g. Proekt Programmy` razvitiya OON i Pravitel`stva Kazaxstana «Kazaxstan – iniciativa razvitiya ry`nka vetroe`nergetiki» [National Program for the Development of wind energy in the Republic of Kazakhstan until 2015. with a perspective until 2024, the project of the UN Development Program and the Government of Kazakhstan «Kazakhstan – Wind Energy Market Development Initiative»] – Almaty` ; Astana, 2007.

3 Design of Foundations for Wind Turbines: master`s Dissertation by Henrik Svensson. – Sweden, 2010. – P. 7–10.

4 **Elistratov, V. V., Konstantinov, I. A., Panfilov, A. A.** Nagruzki na e`lementy` vetroe`nergeticheskoy ustanovki, na ee fundament i osnovanie : uchebnoe posobie [Loads on the elements of a wind power plant, on its foundation and foundation : textbook] – SPb. : Izd-vo SPbGTU, 2011. – 38 p.

5 **Elistratov, V. V., Konstantinov, I. A., Panfilov, A. A.** Raschet fundamentov vetroe`nergeticheskix ustanovok. Monolitny`e zhelezobetonny`e fundamenty` melkogo zalozheniya : uchebnoe posobie [Calculation of foundations of wind power plants. Monolithic reinforced concrete foundations of shallow laying : textbook] – SPb. : Izd-vo SPbGTU, 2007. – Ch.1. – P. 9.

6 **Sapenova, Zh. K.** Qazaqstandaғы gidrogeologialyq jaғdaidaғы jel elektrli qondyrғыly irgetastardy jobalaudyñ geotehnikalyq aspektisi : magistrlik disertasia [Geotechnical aspect of designing wind-electric installation foundations in hydrogeological conditions in Kazakhstan : Master`s thesis] :– Astana : ENU im. L. N. Gumileva, 2017. – 67 p.

7 **Orazova, D. K.** Prognoz raboty` osnovanij i fundamentov vetrovy`x e`nergeticheskix sooruzhenij: dic. ... dok. fil. Ph.D. [Forecast of the operation of foundations and foundations of wind power structures : diss. ... doc. phil. Ph.D.]. – Astana : ENU im. L. N. Gumileva, 2016. – 174 p.

8 **Lukpanov, R. E., Orazova, D. K.** Raschet fundamenta VE`U v programmnom komplekse SCAD i Plaxis 2D v usloviyax g. Erejmentau [Calculation of the wind turbine foundation in the SCAD and Plaxis 2D software package in the conditions of Erejmentau] // Nauchny`j zhurnal «Vestnik» ENU im. L. N. Gumileva. – 2014. – T. 1. – № 6(103). – P. 117–122.

9 Status of Land – Based Wind Energy Development in Germany. – Germany : Deutsche WindGuard, 2014.

10 Concrete Structures for Wind Turbines. Jurgen Grunberg, Joachim Gohlmann. Germany – 2011.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

*Д. К. Оразова¹, Р. Е. Лукпанов², Ж. К. Сапенова³, Г. Т. Тлеуленова⁴

^{1,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

^{2,4}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В КАЗАХСТАНЕ

В статье рассмотрены вопросы исследования оснований и фундамента ветроэнергетической установки (ВЭУ) в гидрогеологических условиях Казахстана, в частности Ерейментауского района. Рассмотрены проблемы строительства ветровых электрических станций на территории Казахстана. Была проведена оценка категории скорости ветра.

Приведены характеристики фундаментов в соответствии с инженерно-геологическими условиями, которые соответствует техническим требованиям СНИПа. Изображены слои инженерно-геологического строения территории.

Описаны показатели физико-механических свойств инженерно-геологических элементов, полученных в грунте основания на исследуемых площадках.

По результатам естественных замеров фундамента ветроэнергетической установки и баини сделан прогноз вибрационных параметров фундамента ветроэнергетической установки от давления ветра ветроэнергетической установки.

Представлены результаты исследований: вертикальные, горизонтальные и полные перемещения, относительная деформация и нормальное, касательное и полное напряжение.

В статье рассмотрен плитный фундамент, который спроектирован по нормативным стандартам. Результаты расчета приведены в статье в табличном отображении и в виде рисунков. Геометрия фундамента подобрана из условия удовлетворения

пределным состоянием: на несущую способность, осадку и общую устойчивость.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ВЭУ, фундамент, нагрузка, напряжение.

*D. K. Orazova¹, R. E. Lukpanov², Zh. K. Sapenova³, G. T. Tleulenova⁴

^{1,2}Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

^{2,4}L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 15.09.22.

RESEARCH OF THE GROUNDS AND FOUNDATIONS OF A WIND POWER PLANT IN KAZAKHSTAN

The article deals with the research of grounds and foundations of wind power plant (WPP) in the hydrogeological conditions of Kazakhstan, in particular Ereymentau area. The problems of construction of wind power plants in the territory of Kazakhstan were considered. The category of wind speed was assessed.

The characteristics of the foundations in accordance with the engineering-geological conditions, which meet the technical requirements of SNIP. Layers of engineering and geological structure of the territory are depicted.

The indicators of physical and mechanical properties of engineering and geological elements obtained in the foundation soil at the studied sites are described.

Based on the results of natural measurements of the foundation of the wind turbine and the tower, a prediction of the vibration parameters of the foundation of the wind turbine from the wind pressure of the wind turbine was made.

The article deals with the slab foundation, which is designed according to the regulatory standards. The results of the calculation are given in the article in tabular representation and in the form of figures. The geometry of the foundation is selected from the condition of meeting the limit states: for the bearing capacity, settlement and overall stability.

Keywords: alternative energy, wind turbines, foundation, load, tension.

МРНТИ 48.45.03:48.45.31

<https://doi.org/10.48081/LSCP5714>

*E. S. Pummer¹, A. A. Savostin², D. B. Pummer³,
K. T. Koshekov⁴, G. V. Savostina⁵

^{1,2,3,5}Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,
Республика Казахстан, г. Петропавловск;

⁴Академия Гражданской Авиации, Республика Казахстан, г. Алматы

ФОКУСИРОВКА МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЗЕРКАЛЬНЫХ РЕФЛЕКТОРОВ

С целью обобщения возможностей использования микроволнового излучения в промышленных процессах, в статье рассмотрены и проанализированы различные способы фокусировки микроволнового излучения на объекты различной конфигурации. Обоснованы технологические преимущества облучения объектов различной формы микроволновым излучением, используя при этом рефлекторы на основе кривых второго и третьего порядка в виде эллиптического и параболического цилиндров.

В статье раскрывается возможность более эффективного использования микроволнового излучения и защиты от него окружающего пространства. Предложены эффективные способы сушки древесины и крупногабаритного пиломатериала. Разработанный способ облучения протяженных цилиндрических и плоских поверхностей перспективен для решения достаточно часто встречающихся инженерных задач.

Обсуждены преимущества предлагаемого способа фокусировки микроволнового излучения на основе собирающей линзы Френеля в совокупности с параболическим рефлектором. Даны рекомендации по конструированию корпуса зеркальных отражателей с целью регулирования интенсивности электромагнитного излучения.

В соответствии с проведенными исследованиями, предложены схемы систем фокусировки микроволнового излучения на объекты различной природы и конфигурации, в основе которых лежат поверхностный волновод и зеркальные рефлекторы в виде эллиптического и параболического цилиндров.

Ключевые слова: Микроволновое излучение, рефлектор, поверхностный волновод, распределение поля, вибратор.

Введение

В практике использования микроволнового облучения все чаще ставится задача равномерно распределения электромагнитного поля на объекты различной конфигурации. Бытовые микроволновые печи требуют небольшого замкнутого объема, в котором необходимо концентрировать электромагнитное излучение.

В микроволновых установках, применяемых в сельском хозяйстве, требуется концентрация электромагнитного поля в небольших объемах (борьба с вредителями, предпосевная обработка семян), либо концентрация поля по длине и ширине той или иной сельскохозяйственной посадки [1].

Промышленные установки также весьма разнообразны в применении облучаемых объемов и поверхностей. Так, разогрев битума в цистернах требует установки излучателя микроволновой энергии непосредственно в них, тогда как открытые емкости с ним требуют разогрева на определенных площадках, определяемых шириной и длиной битумохранилища [2].

Облучение протяженных цилиндрических (внешней или внутренней) и плоских поверхностей достаточно часто встречается в решении многих инженерных задач. К таким задачам следует отнести равномерную сушку зерновых культур, крупногабаритного древесного материала различной конфигурации [3].

Материалы и методы

При проведении исследований применялись соответствующие законы геометрической оптики. Классические положения электродинамики, теория измерений, теория поверхностного волновода, включая теорию процесса облучения диэлектрических объектов.

Результаты и обсуждения

Самым простым рефлектором микроволнового излучения может служить плоский металлический лист, хотя выигрыш при использовании такого отражателя не превышает 3 дБ. Для фокусировки микроволнового излучения на объекте облучения может быть использован отражатель в виде параболического цилиндра [4]. Применение волновода поверхностных волн в совокупности с зеркальным рефлектором, выполненным в виде параболического цилиндра, позволяет разработать системы фокусировки микроволнового излучения на различные площади. Границы облучения той или иной площади определяются раскрывом и длиной параболического рефлектора.

Размеры параболического рефлектора выбираются из условия, что его длина должна быть не меньше длины антенной решетки, расположенной на его фокальной оси F_1 , а его ширина выбирается с учетом интенсивности электромагнитного поля.

Такой рефлектор преобразует всенаправленное излучение соосных с проводом (или параллельных ему) вибраторов в поток параллельных лучей, излучаемых с раскрыва (апертуры) параболического рефлектора. Система концентрации микроволнового излучения с помощью зеркального параболического рефлектора представлена на рисунке 1.

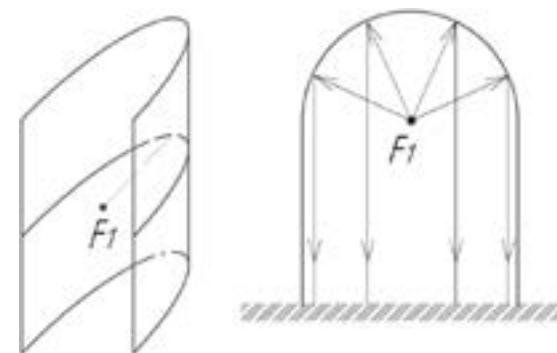


Рисунок 1 – Система фокусировки микроволнового излучения с помощью зеркального параболического рефлектора

Поток микроволнового излучения от соосных с проводом вибраторов, концентрируясь внутри зеркального параболического рефлектора, отражается от внутренней поверхности его стенок и равномерно фокусируется на площади равной апертуре параболического рефлектора [5].

В случае с параболическим рефлектором

$$S_{\text{раскрыва}} = D \cdot L, \quad (1)$$

где $S_{\text{раскрыва}}$ – площадь раскрыва параболического рефлектора,
 S_0 – площадь облучения;

На объект облучения поступает поток в $\frac{S_{\text{раскрыва}}}{S_0}$ раз меньший,

$$|\bar{H}| = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P_2}{DL}. \quad (2)$$

Мощность, поглощаемая объект облучения

$$P_2 = \text{ex} \int \int \delta \left| \frac{\bar{H}}{DL} \right|^2 dV = \text{ex} \int \int \delta M \bar{H}^2 \left(\frac{d}{D} \right) \quad (3)$$

При этом эффективность облучения может быть выражена соотношением

$$\eta = \frac{P_2}{P_3} = \text{ex} \int \int \delta \bar{H}^2. \quad (4)$$

Важным достоинством предложенного варианта фокусировки микроволнового излучения является равномерность облучения по всей площади. Также немаловажным является решение проблемы, повышения степени экранирования возможного высокочастотного излучения для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала.

Для решения практических задач представляют интерес и другие способы фокусировки микроволнового излучения на облучаемые объекты. Одна из них состоит в применении собирающей линзы Френеля в виде чередующихся проводящих полос определенного размера [6].

Применение данного способа фокусировки микроволнового излучения состоит в том, параллельный пучок лучей параболического рефлектора, возбуждаемого переизлучающей антенной решеткой, установленной на фокальной оси, фокусируется в линию с помощью собирающей линзы Френеля. В данном варианте все лучи параболического рефлектора фокусируются на фокальной линии линзы [7].

На рисунке 2 представлена схема системы фокусировки микроволнового излучения на основе линзы Френеля.



Рисунок 2 – Схема системы фокусировки микроволнового излучения на основе линзы Френеля

Распределение электромагнитного поля на переизлучающей решетке, расположенной на фокальной оси F1 таково, что на линии F2 имеет место равномерная концентрация микроволновой энергии, воздействующая на объект. Недостатком данного способа является потеря мощности из-за рассеяния на объекте облучения.

Наиболее эффективную концентрацию микроволнового излучения на поверхность облучаемого объекта возможно обеспечить с помощью кривой второго поля в виде эллиптического рефлектора, имеющего две фокальные линии F1 и F2 [8, 9].

На рисунке 3 представлена схема системы фокусировки микроволнового излучения на облучаемый объект с помощью эллиптического рефлектора.

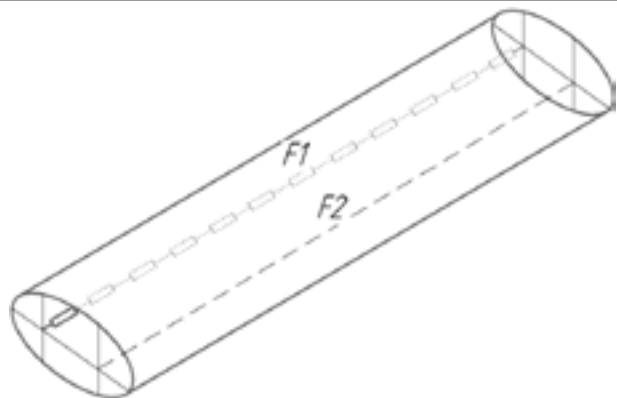


Рисунок 3 – Схема системы фокусировки микроволнового излучения на облучаемый объект с помощью эллиптического рефлектора

В данном варианте вдоль оси F1 эллиптического рефлектора размещается вибраторная решетка из группы соосных с проводом переизлучающих вибраторов, а на второй оси F2 располагают облучаемый объект, причем габаритные размеры объекта сушки должна быть близка к оси F2 [10].

Размеры эллиптического рефлектора выбирают исходя из того, что его длина должна быть не меньше длины объекта облучения, а поперечный размер выбирается из расчета, что минимальный зазор от фокальной оси F1 до отражающей стенки должен быть больше зоны распространения поверхностной волны.

Плотность потока микроволновой энергии в области линии F2 зависит от сечения объекта облучения и может быть определено по формуле

$$\Pi = \frac{P_0}{S_0}, \quad (5)$$

где P_0 – мощность, поступающая от генератора,

S_0 – площадь облучаемой поверхности,

Π – плотность потока микроволновой энергии,

Z волновое сопротивление.

Стоит отметить, что плотность потока микроволновой энергии зависит от сечения объекта облучения.

Напряженность электрического поля в облучаемом объекте определяется выражением

$$|E|^2 = \Pi \cdot Z. \quad (6)$$

Мощность, поглощаемая облучаемым объектом

$$P_2 = \omega W \varepsilon_0 \varepsilon_1 \operatorname{tg} \delta \int \Pi dV \approx \omega W \varepsilon_0 \operatorname{tg} \delta P_0 \frac{D}{4}. \quad (7)$$

Проводящую поверхность рефлектора рекомендуется изготовить из металлического листа, например из латуни или сплава алюминия. Также оболочка рефлектора может быть выполнена из однолинейных проводников. При этом, чем меньше расстояние между проводниками, тем меньше интенсивность вредоносного микроволнового излучения за пределами оболочки, что важно для обслуживающего персонала [11].

Выводы

Предложенные системы фокусировки микроволнового излучения на основе зеркальных рефлекторов позволяют решить ряд важнейших практических задач:

во-первых, достигается равномерное распределение микроволновой энергии на поверхности облучаемого объекта;

во-вторых, возрастает интенсивность микроволнового облучения на заданной поверхности (площади) S_0 ;

в-третьих, замкнутость объема эллиптического и параболического рефлектора обеспечивает экранирование микроволнового излучения. В данном случае, нет рассеивания микроволновой энергии, что важно для защиты обслуживающего персонала.

Предложенные варианты фокусировки микроволнового излучения могут быть использованы в установках для сушки древесины в деревообрабатывающем производстве, в установках, применяемых в сельском хозяйстве, а также в микроволновых установках, используемых в различных отраслях промышленности.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP13268797).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., Wang, S.** Trends in microwave related drying of fruits and vegetables // Trends Food Science & Technology. – 2006 – vol. 17. – № 10 – P. 524–534. – DOI:10.1016/j.tifs.2006.04.011.

2 **Кутищев, С. Н., Михайлов, Г. Д., Преображенский, А. П.** Рассеяние электромагнитных волн на полостях сложной формы // Зарубежная радиоэлектроника. – 1998. – №10. – С. 26–38.

3 **Ritter, E., Cieslik, J., Kismereshkini, V., Savostin, A., Ritter, D., Nabiev, N.** Installation for concentrated uniform heating of objects by microwave radiation // Intl journal of electronics and telecommunications. – 2019 – vol. 66, № 2. – P. 295–300. – DOI: 10.24425/ijet.2020.131877.

4 **Бобровников, М. С., Фисановым, В. В.** Дифракция аксиальной цилиндрической поверхностной волны на разветвлении, состоящем из n проводов // Исследования по квантовой электронике и электродинамике СВЧ. – Томск, 1974. – № 1. – С. 256–266.

5 Пат. 2474016 Российская Федерация, МПК С20В3/04. Антенная решетка / Кисмерешкин В.П., Лобова Г.Н.; опубл. 18. 03. 2000, бюл. № 4. – 5 с.

6 **Гоголева, Е. М., Фарафонтובה, Е. П.** Прикладная оптика: учебное пособие [Текст]. – Екатеринбург, 2016. – 184 с.

7 **Михеенко, А. В.** Геометрическая оптика: учебное пособие [Текст]. – Хабаровск: ТОГУ, 2018. – 100 с.

8 **Свешникова, И. С., Запрыгаева, Л. А., Гузеєв, И. В.** Основы геометрической оптики: учебное пособие [Текст]. – М., 2009. – 160 с.

9 **Ландсберг, Г. С.** Оптика: учебное пособие для вузов [Текст]. – М : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.

10 **Риттер, Е. С.** Сверхвысокочастотная сушка древесины на основе однопроводной линии поверхностных волн: дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации [Текст]. – Петропавловск, 2021. – 118 с.

11 Пат. 4988 на полезную модель, Система для равномерной концентрации электромагнитной энергии при СВЧ-сушке древесины / Риттер Е.С., Кисмерешкин В. П, Риттер Д. В., Зыкова Н. В. / Республика Казахстан. опубл. 29.05.2020, бюл. № 21. – 3 с.

REFERENCES

1 **Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., Wang, S.** Trends in microwave related drying of fruits and vegetables // Trends Food Science & Technology. – 2006 – vol. 17. – № 10 – P. 524–534. – DOI:10.1016/j.tifs.2006.04.011.

2 **Kutishchev, S. N., Mikhailov, G. D., Preobrazhenskii, A. P.** Rasseyanie elektromagnitnykh voln na polostyakh slozhnoi formy [Scattering of electromagnetic waves on cavities of complex shape] // Zarubezhnaya radioelektronika. – 1998. – №10. – P. 26 - 38.

3 **Ritter, E., Cieslik, J., Kismereshkini, V., Savostin, A., Ritter, D., Nabiev, N.** Installation for concentrated uniform heating of objects by microwave radiation // Intl journal of electronics and telecommunications. – 2019 –vol. 66, № 2. – P. 295–300. – DOI: 10.24425/ijet.2020.131877.

4 **Bobrovnikov, M. S., Fisanovym, V. V.** Difraktsiya aksialnoi tsilindricheskoi poverkhnostnoi volny na razvetvlenii, sostoyashchem iz n provodov [Diffraction of an axial cylindrical surface wave on a fork consisting of n wires] // Issledovaniya po kvantovoi elektronike i elektrodinamike SVCh. – Tomsk, 1974. – № 1. – P. 256-266.

5 Pat. 2474016 Rossiiskaya Federatsiya, IPC C20B3/04. Antennaya reshetka [Antenna array] / Kismereshkin V. P., Lobova G. N.; opubl. 18.03.2000, byul № 4. – 5 p.

6 **Gogoleva, E. M., Farafontova, E. P.** Prikladnaya optika: uchebnoe posobie [Applied Optics: a tutorial] [Text]. – Ekaterinburg, 2016. – 184 p.

7 **Mikheenko, A. V.** Geometricheskaya optika: uchebnoe posobie [Geometric optics: tutorial] [Text]. – Khabarovsk: TOGU, 2018. – 100 p.

8 **Sveshnikova, I. S., Zapryagaeva, L. A., Guzeev, I. V.** Osnovy geometricheskoi optiki: uchebnoe posobie [Fundamentals of geometric optics: tutorial] [Text]. – М. : – 2009. – 160 p.

9 **Landsberg, G. S.** Optika: uchebnoe posobie dlya vuzov [Optics: tutorial for universities] [Text]. – М. : FIZMATLIT, 2003. – 848 p.

10 **Ritter, E. S.** Sverkhvysokochastotnaya sushka drevesiny na osnove odnoprovodnoi linii poverkhnostnykh voln: dissertatsiya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D071900 – Radiotekhnika, elektronika i telekommunikatsii. [Ultrahigh-frequency drying of wood based on a single-wire line of surface waves: Diss. for the degree of doctor of philosophy (PhD) 6D071900 – Radio Engineering, Electronics and Telecommunications] [Text] – Petropavlovsk, 2021. – 118 p.

11 Pat. 4988 na poleznuyu model, Sistema dlya ravnomernoi kontsentratsii elektromagnitnoi energii pri SVCh-sushke drevesiny [System for uniformity concentration of electromagnetic energy in microwave drying of wood] \ Ritter E. S., Kismireshkin V. P, Ritter D. V., Zyкова N. V. / Respublika Kazakhstan. opubl. 29. 05. 2020, byul. № 21. – 3 p.

Материал поступил в редакцию 15.09.22

*Е. С. Риттер¹, А. А. Савостин², Д. В. Риттер³, К. Т. Кошеков⁴,
Г. В. Савостина⁵

^{1,2,3,5}М. Қозыбаев атындағы Солтүстік-Қазақстан университеті,
Қазақстан Республикасы, Петропавл қ.

⁴Азаматтық Авиация Академиясы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

АЙНА РЕФЛЕКТОРЛАРЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН МИКРОТОЛҚЫНДЫ СӘУЛЕЛЕНУДІ ФОКУСТАУ

Өнеркәсіптік процестерде микротолқынды сәулеленуді қолдану мүмкіндіктерін жалпылау үшін мақалада микротолқынды сәулеленуді әртүрлі конфигурациядағы объектілерге бағыттаудың әртүрлі әдістері қарастырылады және талданады. Эллиптикалық және параболалық цилиндрлер түрінде екінші және үшінші ретті қисықтарға негізделген рефлекторларды қолдана отырып, микротолқынды сәулеленудің әртүрлі формадағы объектілерін сәулеленудің технологиялық артықшылықтары негізделген.

Мақалада микротолқынды сәулеленуді тиімді пайдалану және одан қоршаған кеңістікті қорғау мүмкіндігі көрсетілген. Ағаш пен үлкен ағашты кептірудің тиімді әдістері ұсынылған. Өзірленген тәсілі сәулелену ұзақ цилиндрлік және жазық беттердің табысты шешу үшін жеткілікті жиі кездесетін инженерлік есептерді шығару.

Френель жинайтын линза негізінде микротолқынды сәулеленуді параболалық рефлектормен бірге фокустаудың ұсынылған әдісінің артықшылықтары талқыланды. Электромагниттік сәулеленудің қарқындылығын реттеу мақсатында айна шағылыстырғыштарының корпусын жобалау бойынша ұсыныстар берілді.

Зерттеулерге сәйкес, эллиптикалық және параболалық цилиндрлер түріндегі беттік толқындық және айна рефлекторларына негізделген әртүрлі сипаттағы және конфигурациядағы объектілерге микротолқынды фокустау жүйелерінің схемалары ұсынылған.

Кілтті сөздер: микротолқынды сәуле, рефлектор, беттік толқын өткізгіш, өрісті тарату, вибратор.

E. S. Ritter¹, A. A. Savostin², D. V. Ritter³,
K. T. Koshekov⁴, G. V. Savostina⁵

^{1,2,3,5}M. Kozybayev North-Kazakhstan University,
Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk;

⁴Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 15.09.22.

FOCUSING MICROWAVE RADIATION USING MIRROR REFLECTORS

In order to generalize the possibilities of using microwave radiation in industrial processes, various ways of focusing microwave radiation on objects of various configurations are discussed and analyzed in this article.

The technological advantages of irradiation of objects of various forms with microwave radiation are substantiated, besides using reflectors based on the second and the third order curves in the form of elliptical and parabolic cylinders.

The possibility of more efficient use of microwave radiation and protection of the surrounding space from it is revealed in this article.

Effective methods of drying wood and large-sized saw timber are proposed.

The developed method of irradiation of extended cylindrical and flat surfaces is worthwhile for solving common engineering problems.

The advantages of the proposed method of focusing microwave radiation based on a Fresnel collecting lens together with a parabolic reflector are discussed.

Recommendations for the designing of the frame of the mirror reflector in order to regulate the intensity of electromagnetic radiation are given

In accordance with the studies carried out, schemes of systems for focusing of microwave radiation on objects of different nature and configuration are proposed, which are based on a surface waveguide and mirror reflectors in the form of elliptical and parabolic cylinders.

Keywords: Microwave radiation, reflector, surface waveguide, field distribution, vibrator.

<https://doi.org/10.48081/TFYU1550>

***Е. Ж. Сарсикеев¹, А. К. Оразбекова², Г. О. Сулейменова³**

^{1,2,3} Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

БЕТОН МЕН ТЕМІРБЕТОНДА ТҰТАНУ МОДЕЛІН ЖАСАУ ЖӘНЕ ЭЛЕКТР РАЗРЯДТАРЫН ДАМУ

Бұл мақалада генераторлық конденсаторы, кедергісі, индуктивтілігі және жүктемесі (плазмалық канал) бар эквивалентті тізбек негізінде жоғары вольтты импульстік генератордың разрядты тізбегінің моделін құру бойынша жұмыстың нәтижелері келтірілген. Модель разрядты тізбек үшін Кирхгоф теңдеулеріне және разряд каналының кедергісінің өзгеруін есептеу үшін Ромпе-Вайцель теңдеуіне негізделген. Генератордың жұмысы сыйымдылықпен, тізбектің активті кедергісімен, индуктивтілікпен, генератордың сыйымдылығы зарядтала алатын бастапқы кернеумен анықталады. Сыйымдылық пен кернеудің мәндері сыйымдылықты жинақтағыш сақтаған энергияны анықтайды. Каналдық сатыда сыйымдылық пен индуктивтілік генератор тізбегіндегі тербелістердің тербелмелі сипатын анықтайды. Разрядты арналарды қайталап модельдеу тұрақсыздықты дамытудың стохастикалық-детерминистік тәсіліне негізделген: зарядтардың қозғалысы дамушы каналдар бойындағы электродтар мен материалдардағы зарядтардан құралған өрістің бөлінуі токтың үздіксіздігі, Ом, Пуассон теңдеулерімен сипатталады, ал әр нүктедегі диэлектриктің өткізгіш күйге (плазмаға) оту ықтималдығы жинақталған энергияның тығыздығымен, яғни өріс кернеуінің квадратымен анықталады. Осылайша электр өрісінің таралуына байланысты процесстер сызықты емес интегро-дифференциалдық теңдеулер негізінде детерминистік тұрғыда қарастырылады. Разрядтың даму сипаты, каналдың кедергісінің өзгеруі және оның кеңейуі энергияның бөлінуімен анықталатындықтан, бұл теңдеулер нақты импульсті генератор тізбегіндегі отпелі теңдеулермен келісілген түрде шешіледі.

Кілтті сөздер: бетон, сыну, электр разряды, канал, жарылыс, кернеу генераторы, импульс, кернеу, электродтар.

Кіріспе

Бетон мен темірбетонды электрлік разрядты жою капиллярлық разряд кезінде, қатты диэлектриктің қалыңдығында импульстік разрядтық арна дамыған кезде электрлік импульстік әсердің көмегімен жүзеге асырылады. Монографияда электроимпульстік технологияның физикалық негіздері және оны технологиялық қолданудың кейбір аспектілері сипатталған [1].

Зерттеу тақырыбы бойынша көптеген жарияланымдар мен патенттерге қарамастан, разрядтық арнаға энергия енгізудің энергетикалық, қуат және режимдік параметрлерін бағалау және таңдау тек анық жеткіліксіз эксперименттік деректер негізінде, көбінесе сенімді шешім үшін және жиі негізсіз маржамен технологиялық мәселелерді сенімді шешу үшін жасалады. Сондықтан әлемде жасалған жабдықтардың тәжірибелік өнеркәсіптік үлгілері механикалық жою әдістерімен салыстырғанда айтарлықтай салмақтық және өлшемдік сипаттамаларға, жоғары құнына және төмен энергия тиімділігіне ие.

Темірбетон бұйымдарын жою суда жүзеге асырылады, сондықтан бетонның қалыңдығындағы ұшқын арнасын тиімді бастау үшін, алдыңғы ұзақтығы шамамен 10^{-7} с жоғары вольтты импульстар (импульстік еңіс 1000-2000 кВ/мкс) қажет. Сондықтан жоғары кернеу көзі импульстің амплитудасын кең ауқымда реттеуге мүмкіндік беріп, импульс фронтының ұзақтығын және тізбектегі энергияның шығу уақытын өзгерту мүмкіндігін қамтамасыз етуі керек. Бұл талапты Маркс схемасы бойынша жұмыс істейтін генераторлар орындайды.

Материалдар мен әдістер

Берілген тарауда жоғары вольтты импульстік генератордың жұмысы мен разрядының өздігінен үйлесімді моделін қарастырамыз.

Диэлектриктегі (бетондағы) разрядтық құрылымның дамуы және импульстік кернеу генераторының жұмысы C сыйымдылығы, R кедергісі және L индуктивтілігі бар тербелмелі контурдың эквивалентті тізбегі негізінде модельденеді (1–сурет, а). Бұл схеманы таңдау мұндай генераторлардың эксперименттерде және электр разрядының технологияларында қолданылуына байланысты. Жүктеме паразиттік сыйымдылық C_s параллель қосылған разряд саңылауы болып табылады. Алдын ала зарядталған сыйымдылық C энергияны жинақтау болып табылады, ал контур индуктивтілігі L шиналық индуктивтіліктен, генератор конденсаторларынан және разряд саңылауынан тұрады. Айнымалы тізбектің кедергісі R генератордың сымдар мен ұшқын саңылауларының Sw кедергісін ескереді.

Тізбекті ауыстырғаннан кейін (уақыт $t=0$) R кедергісі экспоненциалды түрде төмендейді деп есептеледі.

$$R = R_1 + (R_0 - R_1)e^{-t/\theta_R}$$

мұндағы R_0 мәні $t=0$ кезіндегі бастапқы кедергі, R_1 – шекті минималды кедергі мәні, оның мәні ауа саңылаулары бар кең таралған 6-10 қадамдық Аркадьев-Маркс импульстік кернеуді көбейту тізбектері үшін (1,5–3) Ом тең; θ_R – тізбекті ауыстырудың сипаттамалық уақыты.

C_s тізбегінің паразиттік сыйымдылығы құрылымдық элементтердің паразиттік сыйымдылықтарының қосындысы болып табылады. Кілт жабылған кезде тізбек элементтеріндегі кернеулердің қосындысы нөлге тең болады:

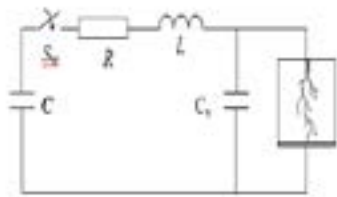
$$U_C + U_R + U_L + U_D = 0$$

U_C – C сыйымдылықтағы кернеу; $U_R = I \cdot R$ – R кедергісіндегі кернеу; $U_L = -L \frac{dI}{dt}$ – L индуктивтілігіндегі кернеу; U_D – разряд саңылауындағы кернеудің төмендеуі; $I = C \frac{dU_C}{dt}$ – генерациялаушы конденсатор C арқылы өтетін ток. Ток I паразиттік сыйымдылық $I_s = C_s \frac{dU_D}{dt}$ пен разряд саңылауының I_D арасы арқылы өтетін токтардың қосындысына тең:

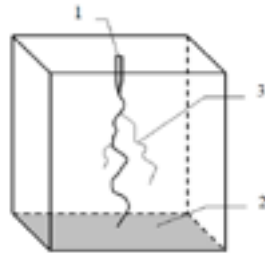
$$I = I_s + I_D.$$

Разряд саңылауындағы кернеудің төмендеуі $U_D(t)$ және ол арқылы өтетін ток $I_D(t)$ диэлектриктегі разрядтың дамуын модельдеумен өзара байланысты теңдеулер бойынша есептеледі.

а)



б)



C – генератор сыйымдылығы, K – ауыстырып-қосқыш, L – контур индуктивтілігі, R – тізбектің айнымалы кедергісі, C_s – паразиттік сыйымдылық; 1 – потенциалдық электрод, 2 – жерге тұйықталған электрод, 3 – разрядтық арналар.

1-сурет – Импульстік кернеулер мен жүктемелер генераторының эквивалентті тізбегі (а) және электродтар жүйесі «ұштық-жазықтық» (б)

Электродтардың ұшы-жазықтық (біртекті диэлектрик) геометриясында разрядтың дамуы қарастырылады (1 б-сурет).

Жоғары вольтты генератордың жұмысын модельдеу мен разрядты әзірлеу арасындағы үйлестіру шекаралық шарттарды қолдану арқылы

жүзеге асырылады. Потенциалды электродта S_p (модельдеу аймағының жоғарғы беті және ұшы) потенциал мәні разряд саңылауындағы $\phi|_{S_p} = U_D$ қарқындылыққа тең, жерге тұйықталған электродта S_0 (төменгі бет) потенциал нөлге тең $\phi|_{S_0} = 0$ деп қабылданады.

Сонымен қатар разряд саңылауы арқылы өтетін токтардың теңдік шарты орын алады

$$\int_V \left(-\epsilon_0 \epsilon \frac{d}{dt} (\nabla \phi) - \sigma \nabla \phi \right) dV + \sum \gamma E_i = I_0$$

Соңғы өрнектегі интеграл астындағы бірінші мүше потенциалдық электродтың беті арқылы өтетін орын ауыстыру тоғына, ал екінші мүшесі көлемді өткізгіштік токқа сәйкес келеді. Қарастырылған өрнектегі қосынды потенциалдық электродтан өсетін разрядтық арналар арқылы өтетін жалпы өткізгіштік токқа сәйкес келеді. Модельдеу аймағының бүйірлік шекараларында циклдік шекаралық шарттар орнатылады.

Ұсынылған модель негізінде жоғары вольтты генератордың жұмысымен бірге диэлектриктегі разрядтың дамуын компьютерлік модельдеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін сандық алгоритм және бағдарламалық қамтамасыз ету әзірленді. Потенциалды және заряд тығыздығының үлестірімі айқын-көрінбеген схеманы пайдалана отырып, теңдеулердің ақырлы-айырымы жуықтауы негізінде есептеледі. Әрбір уақыт қадамында генератор тізбегіндегі және разрядты модельдеу аймағындағы кернеулер мен токтарды есептеу итерациялық процедураны қолдану арқылы орындалады.

t^n уақыт бойынша дискретизация Δt бекітілген қадаммен жүзеге асырылады, n индексі $t^n = n \cdot \Delta t$ уақытындағы қадамдарды санайды. Разряд дамуының модельдеуін жасайтын аймағы h жағымен біркелкі тікбұрышты тормен жабылған. n қадамында (i, j, k) нөмірленген әрбір ұяшық потенциал

$$\phi_{ijk}^n$$
 мен заряд тығыздығының ρ_{ijk}^n өзгеруімен сипатталады.

Разрядты құрылымы сызықтық тармақталу құрылымы болып табылады. Модельде ол көрші ұяшықтардың орталықтарын байланыстыратын түзу сызықты элементтердің жиынтығы ретінде ұсынылған. Ұяшықтарды (i, j, k) және (i', j', k') байланыстыратын құрылым элементі (i, j, k, i', j', k') индексімен беріледі. Разряд құрылымының элементінің бірлігіне өткізгіштігі функциясымен анықталады: $\gamma_{ijk, i'j'k'}$ (i, j, k) саны бар әрбір ұяшыққа салыстырмалы өткізгіштік ϵ_{ijk} , критикалық беріктік

$$E_{ijk}$$
, меншікті өткізгіштік σ_{ijk} өсу ықтималдық коэффициенті α_{ijk} ,

электрөткізгіштік бірлігінің бастапқы мәні $(\gamma_0)_{ijk}$ және бірлік өткізгіштіктің өсу χ_{ijk} және кему ζ_{ijk} коэффициенттері бар диэлектрлік ортаның элементіне сәйкес келеді.

Әрбір уақыт қадамында дәреже құрылымына ұяшықтардың ерікті санын қосуға болады. Бұрыннан разрядты арнасы бар іргелес орналасқан ұяшықтағы (i, j, k) разрядтық құрылым элементінің (i', j', k') ұяшықта қалыптасу ықтималдығы келесідей есептеледі:

$$P_{i,j,k|i',j',k'}^{n+1} = 1 - e^{-\Phi_{i,j,k}(\Phi_{i',j',k'} - \Phi_{i,j,k})}$$

мұндағы $E_{i,j,k|i',j',k'} = (\Phi_{i',j',k'} - \Phi_{i,j,k})/h$ – электр өрісінің кернеулігі, h – (i, j, k) және (i', j', k') ұяшықтар арасындағы қашықтық. Жаңа элементті разрядтық құрылымға қосу кезіңі [0..1) интервалында біркелкі таралуы бар R кездейсоқ саны $P_{i,j,k|i',j',k'}^{n+1}$ -нен аз болғанда болады, ал басқаша жағдайда болмайды. Әртүрлі элементтердің қосылу ықтималдығы статистикалық түрде тәуелсіз.

Плазмалық ыдырау арнасының күйінің өзгеруі төменде қарастырылады.

Разряд құрылымының өсуі өткізгіштік арна арқылы электродаралық саңылаудың көпірленуімен аяқталады (бұзу). Электродтарды жабатын арнада токтың жылдам өсуі басталады, энергияның бөлінуінің жоғарылауы және соның салдарынан плазма өткізгіштігінің жоғарылауы, бұл өз кезегінде токтың одан әрі өсуіне әкеледі. Энергияның қарқынды бөлінуі плазманың температурасы мен қысымының жоғарылауына және соның салдарынан арнаның кеңеюіне әкеледі.

Плазмалық ыдырау арнасының кеңеюінің сипаттамасы энергия балансының теңдеуіне негізделген.

$$\frac{dW}{dt} + \frac{dA}{dt} + N_i = N_j$$

мұндағы W – арнадағы плазманың ішкі энергиясы, A – арнаның кеңеюінің жұмысы, N_j – Джоуль энергиясының бөлінуінің күші, N_i – диэлектриктегі сәулелену және жылу алмасу үшін энергия жоғалтуларының күші. Арнаның кеңеюін егжей-тегжейлі сипаттау плазма күйінің өзгеруін, сондай-ақ температураның, тығыздықтың, қысымның және плазманың өткізгіштігінің таралуындағы біртекті еместерді ескеруді талап етеді.

Бұл модельде келесі жеңілдететін болжамдар қолданылады:

плазманың бұзылу арнасы белгіленген ұзындықтағы l және уақытқа тәуелді радиусы r_{ch} цилиндрлік элементтердің жиынтығымен сипатталады, $r_{ch} l$ деп есептеледі;

- әрбір элементтің кеңеюі басқа элементтерден тәуелсіз қарастырылады;

- әрбір элемент үшін температураның, қысымның және элемент көлемінде өткізгіштіктің біркелкі таралуы қабылданады.

Канал элементінің плазмасының ішкі энергиясы W адиабаталық жуықтауда өрнекпен сипатталады.

$$W = \frac{P \cdot V}{\gamma - 1}$$

мұндағы γ – тиімді адиабаталық көрсеткіш, P және V сәйкесінше плазманың қысымы мен көлемі.

l ұзындығы мен радиусы r_{ch} болатын плазмалық арна элементінің кеңею жұмысы төмендегі қатынаспен анықталады:

$$dA = P \cdot dV = P \cdot l \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{ch}$$

мұндағы $S = \pi r_{ch}^2$ – көлденең қиманың ауданы.

Жылу шығының қуаты плазманың ішкі энергиясына пропорционал деп есептеледі:

$$N_i = \psi \frac{P \cdot l \cdot S}{\gamma - 1}$$

мұндағы ψ – арнадан ортаға жылуды шығару коэффициенті.

Джоуль энергиясының бөліну күші өткізгіштікпен және арна элементіндегі кернеуліктің E_j проекциясымен анықталады.

$$N_j = \gamma \cdot E^2 \cdot l$$

Сонда арна элементі үшін энергия балансының теңдеуін былай жазуға болады:

$$\frac{1}{\gamma - 1} \frac{d(PV)}{dt} + P \frac{dS}{dt} + \psi \frac{P \cdot S}{\gamma - 1} = \gamma \cdot E^2$$

Бөлу арнасының күйінің өзгеруі келесі параметрлермен анықталады: тиімді адиабаталық көрсеткіш және арнадан қоршаған материалға жылуды алу коэффициенті ψ . Адиабаталық көрсеткіш арнадағы электр өрісі энергиясының арна плазмасының ішкі энергиясына айналатын бөлігін анықтайды.

Нәтижелер мен талқылаулар

Модель бес параметрді қамтиды: $E_c, a, \chi, \zeta, \gamma_0$ олар электродаралық саңылау геометриясымен, кернеу параметрлерімен, сондай-ақ кеңістікте таралатын өткізгіштікпен, өткізгіштігі мен көлемдік заряд, разрядтың кеңістіктік-уақыттық және ток сипаттамаларын анықтайды. Модель параметрлері жеткілікті анық физикалық интерпретацияға ие және оптикалық бақылаулар мен ағымдағы өлшемдер арқылы бағалануы мүмкін. Критикалық өріс кернеулігі E_c тұрақсыздықтың даму шегі (разрядтың тұтану күші) болып табылады. E_c шамасының ұлғаюы тармақтар санының азаюына және разрядтық құрылымның арналарының түзелуіне әкеледі. E_c ұлғаюы тармақтар санының

азаюына және разрядтық құрылымның арналарының түзелуіне әкеледі. Осу жылдамдығы параметрі α арнаның осу ықтималдығының тығыздығын жергілікті электр өрісінің энергия тығыздығына байланыстырады. ұлғаюы арналардың осу қарқынының артуына әкеледі. Өткізгіштіктің χ және χ ұлғаюы мен төмендеуінің параметрлері разрядтық арнаның бірлік ұзындықтағы өткізгіштігінің өзгеруін ондағы Джоуль энергиясының бөліну қуатымен байланыстырады. ζ кері мәні разрядтық арнаның релаксация уақытына тең (энергияның бөлінуі аяқталғаннан кейін арнадағы өткізгіш күйдің болуының сипаттамалық уақыты). χ параметрінің жоғарылауы және χ төмендеуі разрядтық арналардың өткізгіштігінің жоғарылауына және арналар бойындағы кернеудің төмендеуіне әкеледі. Нәтижесінде E_n арналардың ұштарында ұлғаяды және олардың осуі тездейді. Бастапқы өткізгіштік γ_0 диэлектрик-плазмалық фазалық ауысу кезінде жаңа ғана пайда болған өткізгіш арнаның күйін сипаттайды. γ_0 ұлғаюы жаңадан пайда болған арналардың өткізгіштігінің жоғарылауының үдеуіне әкеледі, бірақ бұрыннан бар арналардың γ -іне әсер етпейді.

Модельдік параметрлердің мәндері диэлектриктің түріне және разрядтың дамуы кезінде диэлектрик пен каналдарда болатын процестердің сипатына байланысты. Модель параметрлерінің мәндерін микроскопиялық процестерді егжей-тегжейлі талдау арқылы немесе разрядтың дамуын эксперименттік зерттеулер барысында алынған модельдеу нәтижелері мен деректерді салыстыру негізінде анықтауға болады. Біз екінші әдісті қолдандық: модель параметрлерінің мәндері разряд дамуының тәжірибелік жазылған кеңістік-уақыт пен ағымдағы сипаттамаларын сипаттайтындай етіп таңдалады.

Қорытынды

Осылайша, бетонның сипаттамаларын, арматуралық тордың геометриясын және электрод жүйесінің геометриясын ескере отырып, бетондағы разрядтық арналарды бастау және дамытудың стохастикалық-детерминирленген моделі жасалды. Шығару арналарының инициациясын модельдеу тұрақсыздықты дамытудың стохастикалық-детерминирленген тәсіліне негізделген: дамып келе жатқан арналар бойымен және материалда электродтардағы зарядтардың көмегімен пайда болған зарядтардың қозғалысы және өрістің қайта бөлінуі ток үзіліссіздігі, Ом, Пуассон тендеулерімен сипатталған, ал әрбір нүктеде диэлектриктің өткізгіш күйге (плазмаға) өту ықтималдығы жинақталған энергияның тығыздығымен анықталады, яғни, өріс кернеулігінің квадратымен. Осылайша, электр өрісінің таралуымен байланысты процестер сызықтық емес интегро-дифференциалдық тендеулер негізінде детерминирленген түрде қарастырылады. Разрядтың даму сипаты, арна кедергісінің өзгеруі және оның кеңеюі энергияның бөлінуімен анықталатындықтан, бұл тендеулер нақты импульстік генератор тізбегіндегі өтпелі процестің тендеулерімен дәйекті түрде шешіледі.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеулер Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің қаржыландыруымен С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінде жүргізілді (АП09058149 гранты. Темірбетон бұйымдары мен қатты калдықтардың электр разрядтарын жоюды зерттеу. оларды өңдеу және кәдеге жарату үшін жылжымалы кешен әзірлеу).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Семкин, Б. В., Усов, А. Ф., Курец, В. И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1995. – 276 с.
- 2 Кузнецова, Н. С., Буркин, В. В., Лопатин, В. В. Волновая динамика электровзрыва в твердых диэлектриках // Журнал технической физики. – Т. 79. – Вып. 5. – 2009. – С. 42–48.
- 3 Буркин, В. В. Особенности взрывного воздействия при импульсном электрическом пробое прочных сред // Физика горения и взрыва. – № 4. – 1985. – С. 113–118.
- 4 Kuznetsova, N. S., Burkin, V. V., Lopatin, V. V. Dynamics of electro burst in solids. II. Characteristics of wave process // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2009. – Vol. 42. – № 23. – P. 235209.
- 5 Протасов, Ю. И. Разрушение горных пород – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 453 с.
- 6 Bluhm, H., Frey, W., Giese, H., Hoppe, P., Schultheis, C., Sträbner R. (2000). Application of Pulsed HV Discharges to Material Fragmentation and Recycling. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2000. – Vol. 7, No. 5. – P. 625–636.
- 7 Jae-Ou Chae, Young-Jun Jeong, Shmelev V.M., Denicaev A.A., Poutchkov V.M., Ravi V. (2006). Plasma Discharge Initiation of Explosives in Rock Blasting Application: A Case Study // Plasma Science & Technology. – 2006. Vol. 8, No. 4. DOI: 10.1088/1009-0630/8/4/16.
- 8 Сарсикеев, Е. Ж. Моделирование электровзрыва в системе накладных электродов с формированием откольной воронки // Аллея науки. – 2019. № 8 (35). – С. 1–7.
- 9 Кузнецова, Н. С., Мустафина, Р. М., Сарсикеев, Е. Ж. Численная реализация физико-математической модели электровзрыва в конденсированных средах // Вестник Павлодарского государственного университета. Серия Энергетическая. – 2016. – №3. С. 87–97.
- 10 Сарсикеев, Е. Ж., Кузнецова, Н. С., Мустафина, Р. М. Волновая динамика и разрушение при электровзрыве в твердых телах в

электроразрядных технологиях // Вестник Павлодарского государственного университета. Серия Энергетическая. – 2015. – № 3. – С. 63–72.

REFERENCES

1 **Semkin, B. V., Usov, A. F., Kurets, V. I.** Osnovy elektroimpul'snogo razrusheniya materialov. [Fundamentals of electropulse destruction of materials.] // – SPb.: Nauka, 1995. – 276 p.

2 **Kuznetsova, N. S., Burkin, V. V., Lopatin, V. V.** Volnovaya dinamika elektrovzryva v tverdykh dielektrikah [Wave dynamics of electric explosion in solid dielectrics] // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. – T. 79. – Vyp. 5. – 2009. – P. 42–48.

3 **Burkin, V. V.** Osobennosti vzryvnogo vozdeystviya pri impul'snom elektricheskom proboe prochnykh sred [Peculiarities of explosive action during pulsed electrical breakdown of strong media] // Fizika goreniya i vzryva. - No. 4. – 1985. – P. 113–118.

4 **Kuznetsova N.S., Burkin V.V., Lopatin V.V.** [Dynamics of electroburst in solids. II. Characteristics of wave process] // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2009. – Vol. 42. – No. 23. – P. 235209.

5 **Protasov Yu.I.** Razrushenie gornyh porod [Destruction of rocks] - M. : Izd-vo MGGU, 2001. – 453 p.

6 **Bluhm H., Frey W., Giese H., Hoppe P., Schultheis C., Sträbner R.** (2000). Application of Pulsed HV Discharges to Material Fragmentation and Recycling. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. - 2000. - Vol. 7, no. 5. – P. 625–636.

7 **Jae-Ou Chae, Young-Jun Jeong, Shmelev V.M., Denicaev A.A., Poutchkov V.M., Ravi V.** (2006). Plasma Discharge Initiation of Explosives in Rock Blasting Application: A Case Study // Plasma Science & Technology. – 2006. Vol. 8, no. 4. DOI: 10.1088/1009-0630/8/4/16.

8 **Sarsikeev, E. Zh.** Modelirovanie elektrovzryva v sisteme nakladnykh elektrodov s formirovaniem otkol'noj voronki [Simulation of an electric explosion in a system of overhead electrodes with the formation of a spall funnel] // Alleya nauki. – 2019. No. 8 (35). – P. 1–7.

9 **Kuznetsova, N. S., Mustafina, R. M., Sarsikeev, E. Zh.** Chislennaya realizaciya fiziko-matematicheskoy modeli elektrovzryva v kondensirovannykh sredah [Numerical implementation of the physical and mathematical model of electric explosion in condensed media] // Vestnik Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Energeticheskaya. – 2016. – No. 3. P. 87–97.

10 **Sarsikeev, E. Zh., Kuznetsova, N. S., Mustafina, R. M.** Volnovaya dinamika i razrushenie pri elektrovzryve v tverdykh telah v elektrorazryadnykh tekhnologiyah [Wave dynamics and destruction during electric explosion in solids

in electric discharge technologies] // Vestnik Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Energeticheskaya. – 2015. – №3. – P. 63–72.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

**Е. Ж. Сарсикеев¹, А. К. Оразбекова², Г. О. Сулейменова³*

^{1,2,3}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ЗАЖИГАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В БЕТОНЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ

В данной статье представлены результаты работы по созданию модели разрядной цепи высоковольтного импульсного генератора на основе эквивалентной схемы, содержащей генерирующий конденсатор, сопротивление, индуктивность и нагрузку (плазменный канал). Модель основана на уравнениях Кирхгофа для разрядной цепи и уравнении Ромпе-Вайцеля для расчета изменения сопротивления разрядного канала. Работа генератора определяется емкостью, активным сопротивлением цепи, индуктивностью, начальным напряжением, до которого заряжена емкость генератора. Значения емкости и напряжения определяют запасенную емкостным накопителем энергию. На канальной стадии емкость и индуктивность определяют осциллирующий характер колебаний в цепи генератора. Моделирование инициирования разрядных каналов основано на стохастически-детерминистическом подходе развития неустойчивостей: движение зарядов и перераспределение поля, созданного зарядами на электродах, вдоль развивающихся каналов и в материале, описывается уравнениями непрерывности тока, Ома, Пуассона, а вероятность перехода диэлектрика в проводящее состояние (плазму) в каждой точке определяется плотностью запасенной энергии, т.е. квадратом напряженности поля. Процессы, связанные с распределением электрического поля, таким образом, рассматриваются детерминистически на основе нелинейных интегро-дифференциальных уравнений. Поскольку характер развития разряда, изменение сопротивления канала и его расширение определяются выделением энергии, то эти уравнения согласованно решаются с уравнениями переходного процесса в схеме реального импульсного генератора.

Ключевые слова: бетон, разрушение, электрический разряд, канал, взрыв, генератор напряжения, импульс, напряжение, электроды.

*Ye. Zh. Sarsikeev¹, A. K. Orazbekova², G. O. Suleimenova³

^{1,2,3}S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Astana.

Material received on 15.09.22.

CREATING A MODEL OF IGNITION AND DEVELOPMENT OF ELECTRIC DISCHARGE IN CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE

This article presents the results of the work on creating a model of the discharge circuit of a high-voltage pulse generator based on an equivalent circuit containing a generating capacitor, resistance, inductance and load (plasma channel). The model is based on the Kirchhoff equations for the discharge circuit and the Rompe-Weitzel equation for calculating the change in the resistance of the discharge channel. The operation of the generator is determined by the capacitance, the active resistance of the circuit, the inductance, the initial voltage to which the generator capacitance is charged. The capacitance and voltage values determine the energy stored in the capacitive storage. At the channel stage, capacitance and inductance determine the oscillating nature of oscillations in the generator circuit. The simulation of the initiation of discharge channels is based on the stochastic-deterministic approach to the development of instabilities: the movement of charges and the redistribution of the field created by the charges on the electrodes, along the developing channels and in the material, is described by the equations of current continuity, Ohm, Poisson, and the probability of the transition of the dielectric to a conducting state (plasma) at each point is determined by the density of stored energy, i.e. the square of the field strength. The processes associated with the distribution of the electric field are thus considered deterministically on the basis of non-linear integro-differential equations. Since the nature of the development of the discharge, the change in the resistance of the channel and its expansion are determined by the release of energy, these equations are consistently solved with the equations of the transient process in the circuit of a real pulse generator.

Keywords: concrete, destruction, electric discharge, channel, explosion, voltage generator, impulse, voltage, electrodes.

FTAMP 29.19.29

<https://doi.org/10.48081/ADOP2306>

*Д. Е. Ускенбаев¹, А. С. Ногай², А. Д. Ускенбаев³,
К. У. Жетписбаев⁴, С. Турмантай⁵

^{1,2,3,4}С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.,

⁵ Қ. Сәтбаев университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

БАЛҚЫМАДАН АЛЫНАТЫН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ АСҚЫН ӨТКІЗГІШ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ ТҮЗІЛУІНЕ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада ультрақұлгін лазерлі сәулеленуді және спектрдің ультрақұлгін, көрінетін және жақын инфрақызыл аймағын қамтитын оптикалық диапазонның кең спектрлік құрамының жоғары тығыздықты сәулеленуін қолдана отырып алынған балқымадан висмут негізіндегі жоғары температуралы өткізгіш қосылыстардың синтезі бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Балқымадан алынған бастапқы прекурсор-материалдарының асқын өткізгіш фазалардың пайда болуына әсері және асқын өткізгіш қыштың шекті параметрлері зерттелді. Бастапқы прекурсор-материалдарын балқымадан алу жағдайларына байланысты материалдардағы оттегі бойынша стехиометриялық құрамның бұзылуы орын алатыны және бұл стехиометрия асқын өткізгіш фазалардың пайда болу кинетикасы мен динамикасына, асқын өткізгіш қыш қасиеттеріне әсер ететіні анықталды.

Vi-2212 композициясының керамикалық үлгілері үшін төрт контактілі әдісті қолдана отырып асқын өткізгіштік күйге өту температурасын зерттеу арқылы өтудің басталуы (Tc) 80 К сәйкес келетіні анықталды. Ал Vi-2223 композиция үшін керамикалық үлгісі өтудің басталуы 112 К сәйкес келеді. Vi-2212 композициясының керамикасы үшін асқын өткізгіштік күйге өту ені 2 К, ал Vi-2223 керамика үшін өту ені шамамен 10 К. Кең ауысу үлгідегі қоспалардың болуымен және асқын өткізгіштің ақаулы құрылымымен байланысты болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: асқын өткізгіштік, температура, қыш, сиптез, дифрактограмма, морфология, микроқұрылым.

Кіріспе

Қазіргі уақытта жоғары температуралы асқын өткізгіштер (ЖТАӨ) өзінің бірегей қасиеттерінің арқасында ғылым мен техниканың - энергетика, электроника, медицина, байланыс және басқа да алдыңғы қатарлы бағыттарында қолданылатын маңызды материалдардың біріне айналуға және қолдану аясы кеңейуде [1-3]. Дегенмен, ЖТАӨ материалдар әртүрлі салаларда қолданылғанымен, кеңінен қолдану мүмкіндіктері оның құнымен, технологиялық орындаудың күрделілігімен және шекті параметрлердің мәндерімен анықталады.

Мақсаттық ЖТАӨ материалының маңызды параметрлерін анықтайтын негізгі факторларды - қажетті фазалық құрамды, қажетті жұқа құрылымды, микроқұрылымды, морфологияны, тығыздықты және басқаларды қамтамасыз ету, яғни өндіріс тәсілдеріне тәуелді болатын оңтайлы параметрлерді жасау оңай мәселе емес.

Көптеген зерттеулер нәтижелерін саралау қажетті шекті сипаттамаларға ие (әсіресе ток бойынша) материалды қатты фазалық реакциялардың кең таралған әдісімен алудың қиындығын көрсетеді.

Қажетті шекті көрсеткіштерге ие, белгілі фазалық құрамды ЖТАӨ материалдарды алу мәселелерін шешудің бір бағыты балқымалық әдістерді және олардың түрөзгерістерін дамыту болып табылады [4, 5]. Соның ішінде шыны-кристалдық және шынытекес (аморфты) күйлерді алуға бағытталған әдістер дамып келеді, олар дәстүрлі қатты фазалық әдістерге қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. Бұл әдістер жоғары тығыздықты, түйіршік өлшемі реттелетін, морфологиясы мен микроқұрылымы қажетті деңгейде болатын өнім алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұл әдісте бұйымды іс жүзінде қолданудағы аса маңызды көрсеткіштер – оның қажетті өлшемі мен пішінін жоспарлау мүмкіндіктері болады.

Қазіргі уақытта ЖТАӨ қосылыстарының иттрий, таллий, сынап, висмут және басқа элементтер негізіндегі бірнеше кластары белгілі болса да, шыны-кристалдық және аморфтық тәсілдерді жүзеге асыруда тек висмут кең қолданыс тапты. Өйткені балқыманы шыңдау кезінде аталған кластардың ішінде тек висмут негізіндегі қосылыстар ғана тұрақтанған шыны күйді бере алады.

Висмут негізіндегі асқын өткізгіш қосылыстар $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{-1Cu}_n\text{O}_y$ ($n = 1, 2, \dots$) гомологиялық қатарын түзетіндігі белгілі, олардың ішінде $n=2$ және 3 кезіндегі қосылыстар ең тұрақтылары болып табылады, олардың асқын өткізгіш күйге ауысуларының шекті температуралары сәйкесінше

шамамен 85K және 107K болады. Бұл қосылыстар қазіргі уақытта қолданысқа көптеп енген [6-8].

Алайда шекті параметрлері жоғары (әсіресе шекті ток) белгілі құрамды материалдарды алу мәселесі толық шешімін таппаған және ол өзекті мәселе болып табылады. ЖТАӨ материалдарының шекті сипаттамаларына әсер ететін айқындаушы факторларға құрылым, тығыздық, фазалық құрам, пиннинг орталықтар, ішкі құрылымның ерекшеліктері және т.б. шамалар жатады, сондықтан да зерттеушілер осы көрсеткіштердің қажетті деңгейін алуға тырысады. ЖТАӨ қыштың бұл көрсеткіштерінің шамасына бастапқы прекурсор-материалдар әсер етуі мүмкін. Бастапқы прекурсор-материалдар ретінде балқымадан алынатын шыны-кристалдық және аморфтық құрылымдарды қолдануға болады.

Ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты – балқымадан алынатын прекурсор материалының висмут негізіндегі ЖТАӨ қыштың қасиеттеріне және фазалық құрамына әсерін зерттеу.

Материалдар және зерттеу әдістері

$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbO-SrO-CaO-CuO}$ жүйесінде $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ және $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ номиналды құрамдағы ЖТАӨ қыш үлгілерін балқыту тәсілімен алу үшін келесідей реактивтер қолданылды: «а.ү.т» маркалы висмут (III) нитраты, «т» маркалы қорғасын (II) оксиді, «т» маркалы стронций карбонаты, сондай-ақ «а.ү.т.» маркалы кальций және мыс (II) оксидтері. Шикіқұрамды дайындау алдында реактивтер 150 °C температурада 3 сағат бойы қыздырылды, содан кейін мұқият араластырылған шикіқұрам 180 МПа қысыммен нығыздалып, диаметрі 15 мм және қалыңдығы 3 мм таблеткалар алынды. Балқыту процесі алдында үлгілер муфель пешінде 750-800 °C температурада 2 сағат бойы күйдірілді. Салыстырмалы талдау жүргізу мақсатында бастапқы прекурсор-материалдарды алу процесі әртүрлі тәсілдермен жүргізілді: корунд тигельде муфель пешінде балқыту; сынама-таблеткалардың бетіне лазерлік УК сәулеленумен тікелей әсер ету арқылы балқыту; сондай-ақ кең спектрлік құрамды (көрінетін, ИҚ және УК сәулелер) жоғары тығыздықты сәулемен балқыту арқылы алынды. Балқыманы шыңдау қарама-қарсы бағытта айналатын екі мыс білік арасынан өткізу және шашырату арқылы жүзеге асырылды.

Фазалық құрам ДРОН-6 дифрактометрінде рентген-дифракциялық әдіспен, $\text{CuK}\alpha$ - сәулелену көмегімен жүзеге асырылды. Үлгілердің микроқұрылымы Jeol JCM-64901a электронды растрлық микроскопта зерттелді. Үлгілерді элементтік талдау Optima 2000 DV индуктивті байланысқан плазмасы бар атом-эмиссиялық спектрометрде жүргізілді. Үлгілердің шекті параметрлері меншікті кедергінің температураға

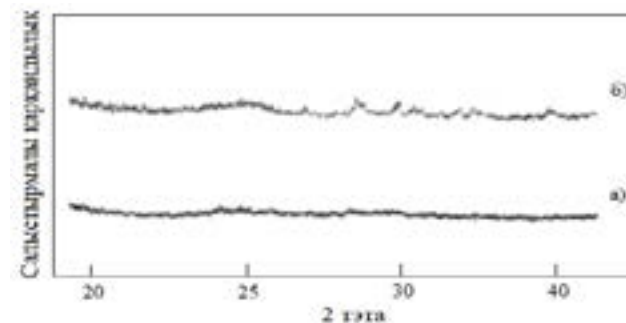
тәуелділігін төрт зонд әдісімен өлшеу және магниттік сезімталдықтың температураға тәуелділігін өлшеу арқылы анықталды.

Нәтижелері және оларды талқылау

Бастапқы прекурсор-материалдардың асқын өткізгіш қыштың фазалық құрамы мен қасиеттеріне әсерін анықтау үшін балқыманы балқыту және шыңдау әр түрлі тәсілдермен жүргізілді, яғни энергия көзі ретінде әр түрлі сәулелену энергиясы пайдаланылды.

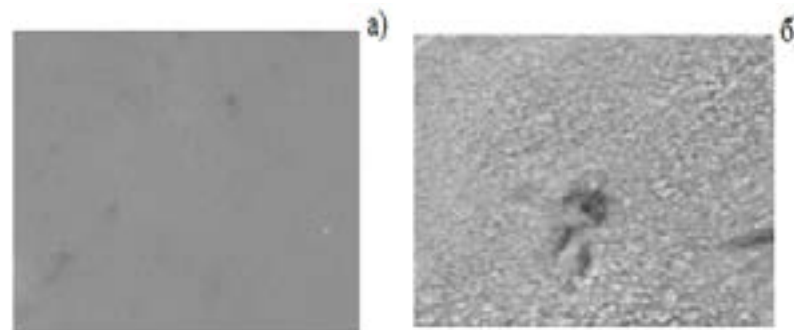
Бірінші жағдайда, салыстырмалы талдау үшін бастапқы шикіқұрамды корунд тигельде 1050-1100°C температурада 4 сағат бойы балқыту жүзеге асырылды, балқыманы шыңдау қарама-қарсы айналатын екі мыс білік арасынан өткізу және шашырату, яғни балқыманы тот баспайтын болаттан жасалған сумен салқындалатын айналмалы дискіге құю арқылы жүзеге асырылды. Балқыманы шыңдау нәтижесінде мыс білікшелер арасынан қалыңдығы шамамен 0,1 мм пластинкалар алынды; ал шашырату арқылы шыңдау кезінде әртүрлі пішінді, өлшемі 3 мм дейінгі кесектер, қалыңдығы 0,1-0,3 мм тілшелер, ұзындығы 10 мм дейінгі инелер және диаметрі 1,5 мм дейінгі шар тәрізді прекурсор-материалдары алынды. Бастапқы прекурсор-материалдардың құрамы келесідей болды: қалыңдығы шамамен 0,1 мм тілшелер мен инелер шыны тәрізді фазада болды, ал түйіршік үлгілері кристаллиттерден тұрды.

Екінші жағдайда, үлгіні УК лазермен балқыту жүзеге асырылды. Лазерлік сәуле шоғының диаметрі 2 мм болды, осыған байланысты балқыту шағын аймақта жүргізілді. Алайда үлгі құраушыларының қарқынды булануы байқалды. Үлгінің балқытылған бөлігінің фазалық құрамын зерттеу дифрактограммаларда кристалдық фазалардың рефлекстері пайда болғанын көрсетті, шыңдар негізінен 1-суреттегі дифрактограммаға сәйкес келеді. Бұл жағдайда дифрактограммада аморфты фазаның іздері байқалады.



1-сурет – Балқымадан алынған бастапқы прекурсор-материалдардың дифрактограммалары (а – лазерлік сәулеленумен балқытылған үлгінің беті; б – шашырату жолымен алынған жұқа қабатты тілшелер)

Муфель пешінде балқытып, кейін балқыманы шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдардың микроқұрылымын зерттеу нәтижелері аздаған кристалдық фазаның қатысын көрсетеді (2-сурет). Кристалдық фазаның мөлшері 2212 үлгінің құрамында 2223 үлгісіне қарағанда төмен, 2223 құрамының кристалдануға бейімділігі кальций мен мыс мөлшерінің жоғарылауы кезінде байқалады. Бұл кезде прекурсор-материалдары құрамының біртектілігі төмендейді.



2-сурет – Муфель пешінде балқытып, шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдардың микроқұрылымдары. а) балқыманы мыс біліктер арасынан өткізу арқылы шыңдалған прекурсор-материалдар; б) балқыманы шашырату арқылы шыңдалған прекурсор-материалдар

Келесі тәсілде үлгіні балқыту нихромды қыздырғышы бар құбырлы пештің және қуаты төмен ультракүлгін лазердің бір уақыттағы әсері арқылы жүзеге асырылды. Үлгі тік құбырлы пештің ішіне орналастырылып, балқу алды температурасына (840-850 °C) дейін қыздырылды. Содан кейін лазерлік сәулеленудің әсерінен сынаманың төменгі бөлігі балқытылып, шыңдау құрылғысына, яғни бүріккішке ағызылды. Бұл кезде де балқымадан шыңдалған прекурсор-материалдар тілшелер, инелер, кесектер және ұсақ дисперсті шар пішінді болып шықты. Үлгілердің дифрактограммасы бірінші жағдайдағыдай фазалық құрам көрсетті.

Үшінші жағдайда сынамаларды балқыту оптикалық диапазонда, оның ішінде УК, көрінетін және жақын ИҚ спектрлік аймақтарды қамтитын жоғары тығыздықты сәулелену ағынының әсерінен жүзеге асырылды. Сәуле үлгі жиегінің бетіне бағытталды және үлгі балқи отырып, шыңдау құрылғысына ақты. Құрылғыда шыңдалған барлық үлгілер басқа тәжірибелердегідей ұқсас пішіндерге ие болды. Кристалдық фазалардың дифрактограммалары (кесектер, қалың қабырғалы тілшелер, үлкен өлшемді шарлар) тек рентгендік шағылудың қарқындылығымен және қарқындыдылығы төмен қосымша рефлекстердің пайда болуымен ерекшеленді.

Үлгілердің элементтік құрамын зерттеу муфель пешінде балқытылған, құрылғыларда шыңдалған прекурсор-материалдарында кальций мөлшерінің стехиометриялық деңгейден біраз ауытқуын (төмендеуін) және оттегінің 10-15 % азайғанын көрсетті.

Ультракүлгін сәуле көмегімен балқыту кезінде үлгі компоненттерінің қарқынды булануы байқалды. Сәуле шоғырының диаметрі кішкентай болуына (2 мм) байланысты шыңдау үшін үлгіні толық балқыту мүмкін болмады, балқу тек шектеулі аймақта жүргізілді. Үлгінің балқытылған бөлігіндегі катиондардың мөлшері стехиометриялық деңгейден айтарлықтай ерекшеленбеді. Оттегі мөлшері 3-5 %-ға жоғарылады.

Муфель пешінде қыздыру арқылы балқытылып, шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдар мен әлсіз УК лазерлік сәулеленуді пайдалану кезіндегі үлгілердің элементтік құрамы стехиометриялық шамадан ауытқымады. Оттегінің мөлшері де есептік шектерде болды.

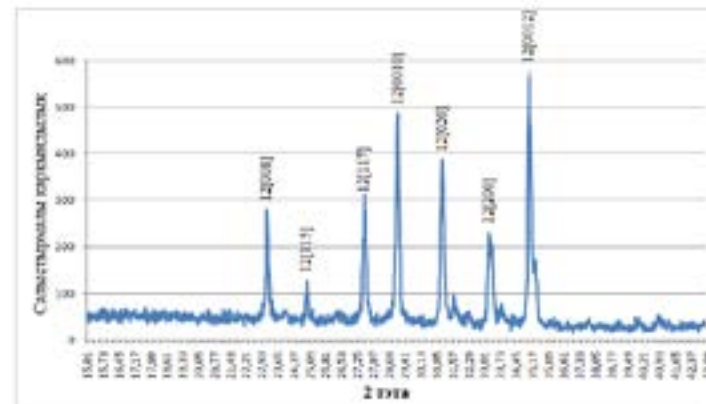
Спектрдің УК, көрінетін және ИҚ аймақтарын қамтитын оптикалық диапазондағы жоғары тығыздықтағы сәулеленудің әсерінен түзілген балқыманы шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдардың катиондық құрамында кальций және қорғасын мөлшерлері бойынша аздаған ауытқу байқалды. Оттегі мөлшері стехиометриялық құраммен салыстырғанда 15-20 %-ға артты.

Одан әрі асқын өткізгіш қышты синтездеу үшін аморфты прекурсорлар (тілшелер, инелер, шарлар) негізіндегі бастапқы прекурсор-материалдар

ірілігі $d \leq 2$ мкм шамаға дейін ұнтақталып, диаметрі 10 мм, ал қалыңдығы 2,5 мм табақша түрінде престелді.

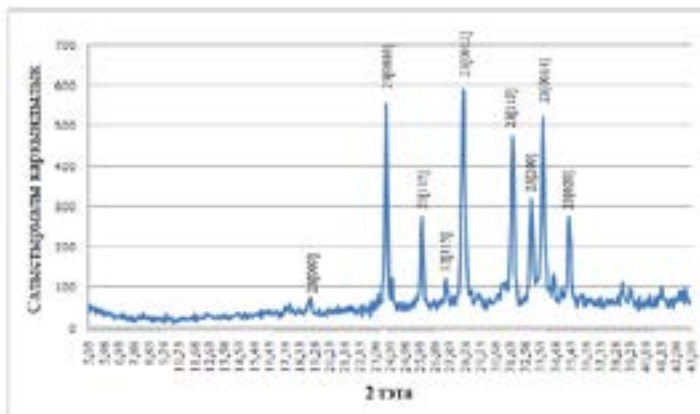
Асқын өткізгіш фазалардың синтезі 700 °C-тан 850 °C-қа дейінгі температураларда изотермиялық режимде термиялық өңдеу арқылы жүзеге асырылды, термо-өңдеу уақыты 25-160 сағат аралығында болды.

$\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (2212) номиналды құрамы үшін 2212 асқын өткізгіш фазасы 700 °C-тан жоғары температурада түзіле бастады. 2212 асқын өткізгіш фазасы түзілуінің максимал жылдамдық температурасы 840-850 °C аралығында болды. Сонымен қатар, түзілудің максимал жылдамдығы лазер сәулесі мен оптикалық диапазондағы сәулелік ағынының әсерінен алынған бастапқы прекурсор-материалдар негізінде дайындалған үлгілер жағдайында байқалды. 25-30 сағаттық термиялық өңдеуден кейін дифрактограммада тек 2212 фазасына қатысты рефлекстер ғана көрінді (3-сурет), ал тигельде алынған прекурсор-материалдар негізінде дайындалған үлгілерде ЖТАӨ 2212 фазасының мөлшері тек 35–40 % болды. Бұл жағдайда 2212 фазасының толық қалыптасуы ұзақ термиялық өңдеу кезінде (90-100 сағат) жүзеге асты.



3-сурет – Оптикалық диапазонды сәулелер әсерінен балқымадан алынған прекурсор-материалдар негізінде синтезделген 2212 құрамындағы ЖТАӨ үлгісінің дифрактограммасы (* – 2212 фаза)

$\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ (2223) номиналды құрамы үшін ЖТАӨ фазаларының түзілу механизмі $2201 \rightarrow 2212 \rightarrow 2223$ гомологиялық қатарының сызбасына сәйкес келеді. Барлық зерттелген үлгілерде 2212 асқын өткізгіш фазасы 700 °C жоғары температурада түзіле бастады.



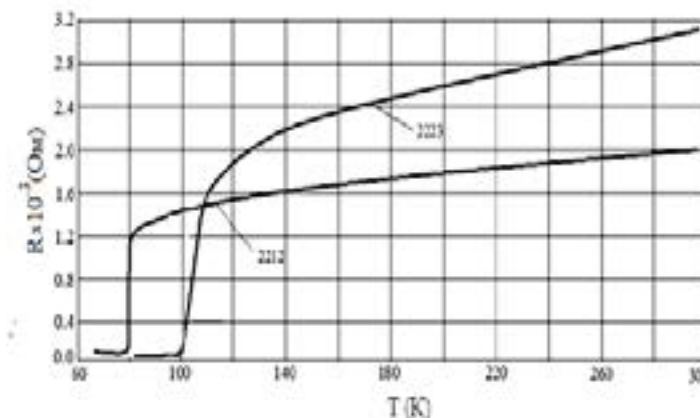
4-сурет – Оптикалық диапазонды сәулелер әсерінен балқымадан алынған прекурсор-материалдар негізінде синтезделген 2223 құрамды ЖТАӨ үлгісінің дифрактограммасы

УК лазерлік сәулеленуді және оптикалық диапазонды сәулелер ағынын пайдалана отырып алынған прекурсор-материалдар негізіндегі үлгілерде 2223 ЖТАӨ фазасы 780–800 °С температурада түзіле бастайды, ал муфель пешінде балқытылған прекурсор-материалдар негізінде алынған үлгілерде бұл температурада 2223 фазасының тек іздері ғана пайда болды.

Температура 846–848 °С-ге дейін жоғарылағанда 2223 фазасының түзілу қарқындылығы күрт өсті. 25 сағаттық термоөңдеу кезінде УК және оптикалық диапазонды сәулелер ағындары қолданылған үлгілердегі 2223 фазасы 40-50 % болды, 50 сағаттық термиялық өңдеу кезінде 2223 фазасының мөлшері 70–80 %-ға жетіп, бір фазалы үлгілер сәйкесінше 85 және 70 сағат уақыттарда алынды (4-сурет).

2212 және 2223 фазаларының сәйкесінше 008; 0010; 0012 (2212) және 0010; 0012; 0014 (2223) рентгендік шағылу қарқындылығы негізінде ЖТАӨ қыштың [001] жазықтық бағыты бойынша жоғары құрылымды (80–85 %) екендігін айтуға болады. Бұл асқын өткізгіш қыштың тоқтық сипаттамаларына оң әсер етуі мүмкін.

2212 және 2223 номиналды құрамдағы ЖТАӨ қыштардың шекті параметрлерін зерттеу 2212 үлгісі үшін асқын өткізгіш күйге өту температурасы 89 К, ал 2223 үлгісі үшін 107 К болатындығын көрсетті (5-сурет).



5-сурет – Оптикалық диапазонды сәулелену әсерімен балқымадан синтезделген 2212 (1) және 2223 (2) құрамды ЖТАӨ үлгілері кедергісінің температураға тәуелділігі

Муфель пешінде балқыту арқылы алынған прекурсор-материалдар негізіндегі үлгіге келетін болсақ, қажетті фазаның түзілу жылдамдығы әлдеқайда баяу болды. Синтез уақыты 120 сағат жағдайында дифрактограммада негізгі 2223 асқын өткізгіш фазасынан басқа төмен температуралы асқын өткізгіш 2212 фазасының рефлекстері, сондай-ақ қоспалық саналатын, асқын өткізгіш емес фазалардың аз қарқындылықтағы рефлекстері болды. Өңдеу уақыты 160 сағатқа дейін ұзартылған кезде негізгі асқын өткізгіш фаза 2223 фазасы болды, үлгіде 2212 фазасының іздері ғана қалды. Температура 848 °С және 120 сағат жағдайында муфель пешіндегі балқымадан алынған термиялық өңделген үлгі кедергісінің температураға тәуелділігін өлшеу 2212 және 2223 асқын өткізгіш фазалар қоспасының болатындығын көрсетті. Өр түрлі тәсілдермен алынған прекурсор-материалдар негізіндегі ЖТАӨ қосылыстарын синтездеу нәтижелерін салыстырмалы талдау жоғары шекті параметрлері бар асқын өткізгіш 2212 және 2223 фазаларының түзілу жылдамдығы УК лазерлік сәуле және оптикалық сәуле энергиясын қолдану арқылы алынған прекурсорлар жағдайында стандартты қатты фазалық әдіспен немесе муфель пештегі балқымадан алынған прекурсорлық материалдар негізінде синтезделген қыштан 2–2,5 есе асып түсетінін көрсетті. Барлық зерттелген үлгілер бірдей жағдайларда синтезделгендіктен ЖТАӨ түзілу жылдамдығына бастапқы материалдардың қасиеттері мен құрамы әсер етті. Элементтік құрамды зерттеу нәтижесі 2212 және 2223 номиналды құрамдарын балқыту кезінде катиондар бойынша стехиометриялық құрамнан

үлкен ауытқу жоқтығын көрсетті және [9–11] авторларының деректері бойынша 2212 және 2223 құрам үшін катионды алмастыру бойынша гомогенділіктің кең аймақтарының пайда болуы байқалады. Бұл катиондық құрам бойынша елеусіз ауытқулардың фазалардың түзілу жылдамдығына әсер етпейтіндігін білдіреді. Мұндай жағдайда жылдамдыққа прекурсор материалдарындағы оттегінің мөлшері әсер етуі мүмкін. [10] жұмысында висмут негізіндегі ЖТАӨ шыны-кристалды әдіспен синтездеу кезінде балқытылған әдістердегі материалдардың балку процесінде балқымадағы оттегінің мөлшері төмендейтіндігін және моновалентті мыс $R(\text{Cu}^+) = \text{Cu}^+ / (\text{Cu}^{2+} + \text{Cu}^+) = 0,7-0,8$ болатындығын атап өткен. Осы тәуелділікке сай муфель пешінде балқыту арқылы алынған прекурсорлық үлгілерде оттегінің мөлшері стехиометриялық мөлшермен салыстырғанда 10-15 %-ға төмен болды және 2212, 2223 асқын өткізгіш фазаларының түзілу жылдамдығы 2 есе немесе одан да баяу болды. Тығыз прекурсор-материалдардағы оттегінің жетіспеушілігі термиялық өңдеу кезінде үлгідегі оттегі диффузиясын баяулату салдарынан асқын өткізгіш фазаның түзілу жылдамдығын төмендететін болуы тиіс. УК сәуле және оптикалық диапазонды жоғары тығыздықты сәуле ағынының әсерімен алынған прекурсор-материалдар жағдайында оттегі деңгейі стехиометриялық құраммен салыстырғанда жоғары болды. Прекурсор-материалдардағы оттегінің жоғары мөлшері бірнеше шарттарға байланысты болуы ықтимал. Біріншіден, радиацияның анизотроптық әсерінен балку процесі үлгінің атмосфералық оттегідегі жұқа бетінде жүреді, бұл кезде оттегінің балқымадағы ерігіштігі жоғары болады. Екіншіден, жоғары қарқынды лазерлік мен оптикалық сәулелер әсерінен балқыма 1250–1300 °C температураға дейін қызады, бұл кезде атмосфералық оттегі ионданып, озон түзеді. Ал озон жоғары тотықтырғыш қасиетке ие және оның балқымадағы ерігіштігі жоғары болады. Озонның қатысуымен ауыспалы валентті катиондар жоғары валентті күйге өтеді, сөйтіп асқын өткізгіш фазалардың түзілу жылдамдығы жоғарылайды.

Қорытынды

Құрамында висмуты бар ЖТАӨ қышты синтездеуде бастапқы прекурсор-материалдардың құрамы мен қасиеттерінің әсерін анықтау үшін УК лазерлік сәулелену және жоғары тығыздықты кең спектрлі (УК, көрінетін, ИК) сәулелену энергияларының әсерінен бастапқы материалдар - шыны тәріздес күйдегі прекурсорлар синтезделді. Прекурсор-материалдардың элементтік құрамын зерттеу катиондық құрамы бойынша айтарлықтай елеулі айырмашылықтар байқалмағанын көрсетті, ал муфель пештен алынған прекурсор-материалдарда оттегі жетіспеушілігі және керісінше, УК лазерлік сәулелену және жоғары тығыздықты сәулелену энергиясы әсерінен алынған прекурсор-материалдарда оттегінің артық мөлшері байқалды. Бастапқы

прекурсор-материалдар негізінде ЖТАӨ қышты синтездеуде, асқын өткізгіш фазалардың түзілу жылдамдығы сәуле энергиясын қолдану арқылы алынған прекурсорларда муфель пешінде алынған прекурсорға қарағанда 2–2,5 есе жылдам екендігі және ол оттегінің артық мөлшері себебінен болатындығы анықталды. Дифрактограммада бөлшектердің басым құрылымы [001] кристаллографиялық жазықтық бойымен бағытталғаны байқалады.

Алғыс. Зерттеу жұмысы ҚР БҒМАР0 АР09260251 грантының қаржылық қолдауы шеңберінде орындалды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Свистунова, О. И.** Разработка и создание ВТСП устройств в КНР // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». – М: НИЦ Курчатовский институт, 2015. – т. 12, № 3. – С. 9–12.

2 **Захарова, Е. И.** Применение высокотемпературной сверхпроводимости в металлургической промышленности / Е. И. Захарова, М. М. Суяндиков. // Технические науки в России и за рубежом : материалы V Междунар. науч. конф. – М.: : Буки-Веди, 2016. – С. 23–29.

3 **Гояла, А.** Токонесущие ленты второго поколения на основе высокотемпературных сверхпроводников / Под ред.; Пер. с англ.; Ред. пер. А. Р. Крауль. М. : Издательство ЛКИ, 2009. – 432 с.

4 **Ускенбаев, Д. Е.** Фазовой состав и свойства ВТСП Bi1.7Pb0.3Sr2Ca_nCu_n+1O_y (n = 2, 3, 4) на основе прекурсорных, полученных методом быстрой закалки расплава // Хим. и химич. технол.: Тез. докл. межд. конф. им. акад. Жаворонкова. – М., 2007. – С. 255–257.

5 **Mora, M., Lopez-Gascon, C., Angurel, L. A., De la Fuente G. F.** The influence of support temperature on Bi-2212 monoliths textured by diode laser zone melting // Supercond. Sci. Technol. – Philadelphia, 2004. – № 17. – P. 1129-1133.

6 **Михайлов, Б. П., Кадырбаев, А. Р., Михайлова, А. Б.** Современное состояние и перспективы разработки и применения сверхпроводников на основе ВТСП соединений, Журнал Функциональных материалов, 2008, № 6, – С. 245–256.

7 **Шамрай, В. Ф., Лазарев Э. М., Нижанковский В. И., Акимов И. И., Комаров А. О., Михайлова А. Б.** Сверхпроводящие материалы из Bi-ВТСП для использования в сильных магнитных полях при гелиевых температурах. // Сб. расш. тезисов первой межд. Конф «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости», Москва-Звенигород, 2004 г., – С. 337.

8 **Majewski, P., Su, H. L., Hettich, B.** The High-Tc Superconducting Solid Solution Bi_{2+x}(Sr,Ca)₃Cu₂O_{8+b} (2212Phase)-Chemical Composition and

Superconducting Properties // Adv. Mater. – Malden, 1992. – V. 4. – № 7/8. – P. 508-511.

9 **Nomura, S., Yamashita, T., Yoshino, H., Ando, K.** Cation Deficiency in $\text{Bi}_2(\text{Sr,Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // J. Am. Ceram. Soc. – Malden, 1991. – V. 74. – № 10. – P. 2711–2714.

10 **Ikuta, H., Kushimoto, T., Enomoto, H., Namuto, S.** X-Ray Photoemission Spectroscopy Study on $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_{1+x}\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // Phase Transit. – Milton, 1993. – V. 42. – № 12. – P.1–5.

11 **Мурашов В. А., Фролов А. М., Лебедев А. В.** Катионное замещение в висмутовых сверхпроводящих купратах // I Всесоюз. совещ. по ВТСП. Тез. докл. – Харьков, 1988. – Т. 3. – С. 116–118.

REFERENCES

1 **Svistunova, O. I.** Razrabotka i sozdaniye VTSP ustroystv v KNR [Development and creation of HTSC devices in China] // Information bulletin «Superconductors for the electric power industry». – M: NRC Kurchatov Institute, 2015. – Vol. 12, No. 3. – P. 9–12.

2 **Zakharova, Ye. I.** Primeneniye vysokotemperaturnoy sverkhprovodimosti v metallurgicheskoy promyshlennosti [Application of high-temperature superconductivity in the metallurgical industry] // Technical sciences in Russia and abroad: materials of the V Intern. scientific conf. – M. : Buki-Vedi, 2016. – P. 23–29.

3 **Goyala, A.** Tokonesushchiye lentyy vtorogo pokoleniya na osnove vysokotemperaturnykh sverkhprovodnikov [Current-carrying tapes of the second generation based on high-temperature superconductors] / Ed.; Per. from English; Ed. per. A.R. Kraul. M. : LKI Publishing House, 2009. – 432 p.

4 **Uskenbayev, D. Ye.** Fazovoy sostav i svoystva VTSP $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_y$ ($n = 2, 3, 4$) na osnove prekursorov, poluchennykh metodom bystroy zakalki rasplava [Phase composition and properties of HTSC $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_y$ ($n = 2, 3, 4$) based on precursors obtained by rapid melt quenching] // Chem. and chem. technol.: Tez. report int. conf. them. acad. Zhavoronkov. – M., 2007. – P. 255-257.

5 **Mora, M., Lopez-Gascon, C., Angurel, L.A., De la Fuente G.F.** The influence of support temperature on Bi-2212 monoliths textured by diode laser zone melting // Supercond. Sci. Technol. – Philadelphia, 2004. – № 17. – P. 1129–1133.

6 **Mikhaylov, B. P., Kadyrbayev, A. R., Mikhaylova, A. B.** Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razrabotki i primeneniya sverkhprovodnikov na osnove VTSP soyedineniy [Current state and prospects for the development and application of superconductors based on HTSC compounds] Journal of Functional Materials, 2008, No. 6, – P. 245–256.

7 **Shamray, V. F., Lazarev, E. M., Nizhankovskiy, V. I., Akimov, I. I., Komarov, A. O., Mikhaylova, A. B.** Sverkhprovodyashchiye materialy iz Bi-VTSP dlya ispol'zovaniya v sil'nykh magnitnykh polyakh pri geliyevykh temperaturakh [Superconducting materials from Bi-HTSC for use in strong magnetic fields at helium temperatures] // Sat. ext. abstracts of the first int. Conf. «Fundamental problems of high-temperature superconductivity», Moscow-Zvenigorod, 2004, – P. 337.

8 **Majewski, P., Su, H. L., Hettich, B.** The High-Tc Superconducting Solid Solution $\text{Bi}_{2+x}(\text{Sr,Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ (2212Phase)-Chemical Composition and Superconducting Properties // Adv. Mater. – Malden, 1992. – V. 4. – № 7/8. – P. 508–511.

9 **Nomura, S., Yamashita, T., Yoshino, H., Ando, K.** Cation Deficiency in $\text{Bi}_2(\text{Sr,Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // J. Am. Ceram. Soc. – Malden, 1991. – V. 74. – № 10. – P. 2711-2714.

10 **Ikuta, H., Kushimoto, T., Enomoto, H., Namuto, S.** X-Ray Photoemission Spectroscopy Study on $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_{1+x}\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // Phase Transit. – Milton, 1993. – V. 42. – № 12. – P.1–5.

11 **Murashov, V. A., Frolov, A. M., Lebedev, A. V.** Kationnoye zameshcheniye v vismutovykh sverkhprovodyashchikh kupratyakh [Cation substitution in bismuth superconducting cuprates] // I All-Union. meeting by HTSC. Tez. report – Kharkov, 1988. – Т. 3. – P. 116–118.

Материал баспаға 15.09.22 түсті

*Д. Е. Ускенбаев¹, А. С. Ногай², А. Д. Ускенбаев³,

К. У. Жетписбаев⁴, С. Турмантай⁵

^{1,2,3,4}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина;

⁵Сатбаев университет, Республика Казахстан, г. Астана.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА ВИСМУТОВЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ РАСПЛАВА

В работе приведены результаты исследования по синтезу висмутсодержащих высокотемпературных сверхпроводящих соединений из расплава, полученное с использованием ультрафиолетового лазерного излучения и высокоплотного излучения широкого спектрального состава оптического диапазона содержащий ультрафиолетовое, видимое и ближней инфракрасного

области спектра. Исследовано влияния исходных материалов-прекурсоров полученное из расплава на образования сверхпроводящих фаз и критические параметры сверхпроводящей керамики. Установлено, что в зависимости от условий получения исходных материалов-прекурсоров из расплава происходит нарушение стехиометрического состава по кислороду в образцах, что влияет на кинетику и динамику образования сверхпроводящих фаз и свойства сверхпроводящей керамики. В образцах с избыточным содержанием кислорода повышалась скорость образования сверхпроводящих фаз.

Исследованием температуры перехода в сверхпроводящее состояния по четырех контактному методу образцов керамики состава Bi-2212 установлены, что начало перехода (T_c) соответствует 80 К. А для керамического образца состава Bi-2223 начало перехода соответствует 112 К. Ширина перехода в сверхпроводящее состояния для керамики состава Bi-2212 составляет 2 К, а для керамики состава Bi-2223 ширина перехода около 10 К. Широкий переход, возможно, связан с присутствием примесей в образце и дефектной структурой сверхпроводника.

Ключевые слова: сверхпроводимость, критическая температура, керамика, синтез, дифрактограмма, фазовый состав.

*D. Uskenbaev¹, A. Nogaï², A. Uskenbaev³, K.Zhetpisbayev⁴, S. Tursyntay⁵

^{1,2,3,4}S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University;

⁵Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Astana.

Material received on 15.09.22.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONDITIONS ON THE FORMATION AND PROPERTIES OF BISMUTH HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING COMPOUNDS OBTAINED FROM THE MELT

The paper presents the results of a study on the synthesis of bismuth-containing high-temperature superconducting compounds from a melt, obtained using ultraviolet laser radiation and high-density radiation of a wide spectral composition of the optical range containing ultraviolet, visible and near-infrared regions of the spectrum. The influence of the initial precursor-materials obtained from the melt on the formation of superconducting phases and the critical parameters of superconducting ceramics is investigated. It was found that, depending on the conditions for obtaining the initial precursor-materials from the melt, the stoichiometric

composition of oxygen in the samples is disturbed, which affects the kinetics and dynamics of the formation of superconducting phases and the properties of superconducting ceramics. In samples with an excess of oxygen content, the rate of formation of superconducting phases increased.

By studying the temperature of transition to the superconducting state by the four-contact method of ceramic samples of the composition Bi-2212, it was established that the beginning of the transition (T_c) corresponds to 80 K. And for a ceramic sample of the composition Bi-2223, the beginning of the transition corresponds to 112 K. The transition width to the superconducting state for ceramics of composition Bi-2212 is 2 K, and for ceramics of composition Bi-2223 the transition width is about 10 K. The wide transition may be related to the presence of impurities in the sample and the defective structure of the superconductor.

Keywords: superconductivity, critical temperature, ceramics, synthesis, diffractogram, phase composition.

<https://doi.org/10.48081/DALJ8073>

***С. Е. Шарипова¹, А. С. Аканова², Н. Н. Оспанова³,
Е. Б. Шарипов⁴**

^{1,2,4}Агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

³Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

НОРМАЛИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПШЕНИЦЫ

В данной статье рассматривается нормализация входных данных для прогнозирования урожайности пшеницы. Объектом исследования в рамках статьи являются входные данные нейронной сети. В рамках данного исследования рассматривается влияние таких параметров как, внесение удобрений, содержащих фосфор и азот на урожайность пшеницы с 1997 года по 2021 год.

В ходе исследования были рассмотрены методы нормализации такие как минимаксная, z-средняя и робостная нормализация. В последующем была осуществлена нормализация имеющихся входных данных. С помощью полученных данных была обучена нейронная сеть прогнозирования урожайности пшеницы. В итоге был проведен сравнительный анализ способов нормализации по таким показателям, как ошибка обучения и точность обучения.

По результатам исследования робостный метод нормализации привел к наилучшему результату: ошибка 0,01. Полученные результаты объясняются тем, что, когда к одному и тому же набору данных применяются разные типы методов нормализации с использованием одного и того же метода машинного обучения, результат может отличаться. Робостная нормализация проста в использовании и дает улучшенный результат по сравнению с другими методами нормализации.

Ключевые слова: нейронная сеть, нормализация, прогнозирование, зерновые культуры, фосфор, удобрение.

Введение

В настоящее время использование нейронных сетей в интеллектуальных системах для агропромышленности является все более широко используемым

инструментом. Преимущество использования нейронных сетей заключается в том, что с помощью сети обнаруживаются скрытые от обычного человека закономерности влияния различных факторов на урожайность культур. К тому же есть возможность повысить точность прогноза за счет эффективного подбора параметров обучения нейронной сети. А также на точность может положительно повлиять нормализация входных данных. В рамках данного исследования рассматривается влияние таких параметров как, внесение удобрений, содержащих фосфор и азот на урожайность пшеницы с 1997 года по 2021 год. Когда значения входных данных очень различаются, а иногда даже разного типа, то это может отрицательно влиять на обучение нейронной сети. В связи с этим перед обучением нейронной сети ее входные данные должны быть нормализованы.

Целью данного исследования является нормализация входных данных для прогнозирования урожайности пшеницы и выполнить сравнительный анализ нескольких методов нормализации, в результате которого будет выбран наилучший способ.

Задачи исследования:

- рассмотреть методы нормализации и применить их к входным данным;
- провести обучение нейронной сети прогнозирования урожайности пшеницы;
- провести сравнительный анализ способов нормализации по выбранным показателям.

В мировой науке нормализация данных была исследована как сеть обратимой автоматической нормализации выбора (RASN), объединяющую уровень нормализации и перенормировки для оценки и выбора модуля нормализации модели прогнозирования для теплицы в интеллектуальной сельскохозяйственной системе [1].

При сравнительном анализе использования различных методов нормализации данных для прогнозирования индексов фондового рынка, результаты гибридной нормализации оказались более заметными по сравнению с другими методами. Приблизительная точность, полученная с использованием метода гибридной нормализации, составила 71 %, 60 % и 71 % в разных архитектурах нейронных сетей [2].

В работах [3], [4] отмечается, что во время исследовании данных предварительная обработка является важным шагом при использовании нейронных сетей.

Учеными было доказано, что разные степени нормализации данных могут привести к разным значениям точности обучения [5]. В исследованиях [6] предлагается теория под названием нормализация встраивания,

которая не только делает обучение модели стабильным, но и повышает производительность моделей прогнозирования показателя кликабельности.

В работе [7] представлен метод предварительной обработки нормализации высоты глобального разделения (GPEN), который предназначен для смягчения влияния ограниченного динамического диапазона данных. Результаты эксперимента показывают более быструю сходимость модели, уменьшение ошибок районирования и улучшенные показатели классификации по сравнению со стандартными методами предварительной обработки нормализации.

В исследовании [8] рассматривается влияние метода нормализации на прогнозирование химической потребности в кислороде, а также эксперименты для определения прогноза точности обратного распространения ошибки до/после методов нормализации.

Ученые с помощью добавления слоя нормализации достигли точности предсказания 81,5 %, что также подтверждает положительное влияние применения нормализации данных в нейронных сетях [9]. Такое же влияние нормализации на точность обучения отражается в работе [10]: результаты данного исследования показывают, что входные параметры узла нейронной сети обрабатываются методом нормализации Z-показателя, что улучшает обучаемость модели, повышает точность эффекта прогнозирования и уменьшает ошибку прогнозирования.

Таким образом, учеными в области нормализации данных было проведено достаточное количество исследований, которое доказывает, что нормализация входных данных значительно повышает точность обучения и уменьшает ошибку прогнозирования. Но вопрос нормализации входных данных для прогнозирования урожайности пшеницы не был достаточно изучен и рассмотрен.

Материалы и методы

В исследовании нормализации данных имеются различные способы и методы, которые имеют существенное влияние на результат нормализации.

Нормализация Min-max. Данный метод широко используется при нормализации данных. По правилам данного метода сначала находятся минимальные и максимальные элементы списка, затем они приравниваются к 0 и 1 соответственно, а остальные элементы будут находиться между 0 и 1. Формула данного метода указана в таблице 1 [11].

Минимаксная нормализация не учитывает аномальные значения, это может отрицательно повлиять на анализ данных и на последующее обучение нейронной сети в целом. В Z-нормализации данный случай уже учитывается путем использования среднего значения. Формула данного метода также

указана в таблице 1 [11], как и формула третьего способа нормализации – робостная (межквартильная нормализация).

Робостная нормализация рассматривает межквартильные интервалы значений, в котором находятся «центральные» 50% данных набора. Эта величина не зависит от «нормальности» распределения наличия/отсутствия асимметрии и уже устойчива к выбросам.

Таблица 1 – методы нормализации

Метод	Формула
Min-max	
Z-среднее	
Робостная	

A_i – i элемент

μ – минимальное значение функции

σ – стандартное отклонение функции

В данном исследовании входными данными являются объем удобрения фосфором, азотом, а выходными данными – урожайность за последние 25 лет [12, 13].

Применив формулу минимаксной нормализации нормализуем входные данные, для наглядности можно увидеть в Таблице 2 результаты вычислений 2002-2004 годов.

Таблица 2 – Входные нормализованные данные

Год	Фосфор	Азот	Урожай	ММФ	ММА	ZФ	ZФ	РФ	РА
2002	198,5	803,4	10,8	0,33435	0,208828	0,008964	0,136985	1,604119	0,685614
2003	158,4	759,8	11,6	0,198509	0,177485	0,000477	0,127758	0,686499	0,466298
2004	169,1	702,4	8,4	0,234756	0,136223	0,002742	0,115609	0,93135	0,177565

Обозначения в таблице 2:

- ММФ – Минимаксная нормализация для фосфора
- ММА – Минимаксная нормализация для азота
- ZФ – Z-среднее для фосфора
- ZA – Z-среднее для азота
- РФ – робостная для фосфора
- РА – робостная для азота

Проведем нормализованные входные данные через нейронную сеть. Нейронная сеть имеет структуру как на рисунке 1.

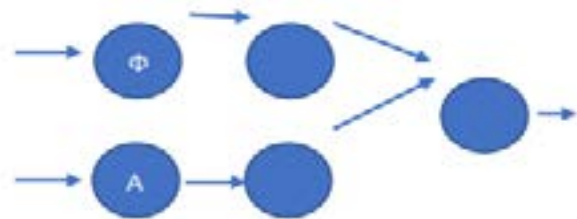


Рисунок 1 – Структура нейронной сети

Данная нейронная сеть имеет два нейрона на входе, где проходят такие данные, как объем внесенного фосфора и азота в почву. В скрытом слое входные данные нормализуются и передаются на выход, где результатом является урожайность пшеницы.

Результаты и обсуждение

Мы сравнили несколько методов нормализации входных данных по показателям ошибки и точности обучения нейронной сети. Результаты можно увидеть в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследования

Метод	Ошибка	Точность
Без нормализации	0,025	78 %
Min-max	0,02	85 %
Z-среднее	0,01	87 %
Робостная	0,001	91 %

Полученные результаты объясняются тем, что, когда к одному и тому же набору данных применяются разные типы методов нормализации с использованием одного и того же метода машинного обучения, результат может отличаться. Робостная нормализация проста в использовании и дает улучшенный результат по сравнению с другими методами нормализации. В дальнейшем предлагается изучить данные методы нормализации для других случаев и большего количества данных.

Выводы

В ходе исследования были рассмотрены методы нормализации и была осуществлена нормализация имеющихся входных данных. С помощью полученных данных была обучена нейронная сеть прогнозирования урожайности пшеницы. В итоге был проведен сравнительный анализ способов нормализации по таким показателям, как ошибка обучения и точность обучения.

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что применение метода межквартильной нормализации приводит к уменьшению ошибки обучения нейронной сети прогнозирования урожайности пшеницы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Xuebo Jin et al.** A Reversible Automatic Selection Normalization (RASN) Deep Network for Predicting in the Smart Agriculture System [Text] // *Agronomy*, 2022. – № 12 (3). – P. 591.

2 **Kumari, B., Swarnkar, T.** Stock movement prediction using hybrid normalization technique and artificial neural network [Text] // *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 2021, – № 8 (83). – P.1336-1350. DOI:10.19101/IJATEE.2021.874387.

3 **Jain, S., Shukla, S., Wadhvani, R.** Dynamic selection of normalization techniques using data complexity measures [Text] // *Expert Systems with Applications*. – 2018. – Vol. 106. – P. 252–262.

4 **Kumari, B., Swarnkar, T.** A Comparative Analysis of Data Standardization Methods on Stock Movement. [Text] // *Intelligent and Cloud Computing. Smart Innovation, Systems and Technologies 2022*, – Vol. 286.

5 **Ramon-Julvez, U., Hernandez, M., Mayordomo E.** and Adni, Analysis of the Influence of Diffeomorphic Normalization in the Prediction of Stable [Text] // *VS Progressive MCI Conversion with Convolutional Neural Networks IEEE 17th International Symposium on Biomedical Imaging*. – 2020. – P. 1120–1124, doi: 10.1109/ISBI45749.2020.9098445.

6 **Yi, J., Kim, B. and Chang, B.** Embedding Normalization: Significance Preserving Feature Normalization for Click-Through Rate [Text] // *Prediction. International Conference on Data Mining Workshops*. – 2021. – P. 75-84, doi: 10.1109/ICDMW53433.2021.00016.

7 **Fafard, A., Van Aardt, J., Coletti, M. and Page, D. L.** Global Partitioning Elevation Normalization Applied to Building Footprint Prediction [Text] // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. – 2020. – № 13. – P. 3493-3502. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3002502.

8. **Vijayabhanu, R., Radha V.** Statistical Normalization techniques for the prediction of COD level for an anaerobic wastewater treatment plant [Text] // *CCSEIT 12: Proceedings of the Second International Conference on Computational Science, Engineering and Information Technology*. 26 October. – 2012. – P. 232–236.

9 **Zeghoud, S., Ali, S. G., Ertugrul, E.** et al. Real-time spatial normalization for dynamic gesture classification [Text] // *The Visual Computer*. – 2022. – № 38, – P. 1345–1357.

10 Dingran Zhang et al. The Research on Improving the Precision of The Polymer IFHI By BP Neural Network of The Method Data Normalization [Text] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2021. Vol. 692. – P. 032067.

11 **Shalabi, L.A.** Data Mining: A Preprocessing Engine [Text] // Journal of Computer Science, 2006. Vol 2. – P. 735–739.

12 stats.gov.kz [Electronic resource]

13 **Какезанова З.** Влияние биогумуса «Павлодарский» на свойства почвы [Text] // XI Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука – сельскому хозяйству» 2016. – № 2. – С. 109–110.

REFERENCE

1 **Xuebo Jin et al.** A Reversible Automatic Selection Normalization (RASN) Deep Network for Predicting in the Smart Agriculture System [Text] // Agronomy. 2022. – № 12 (3). – P. 591.

2 **Kumari, B., Swarnkar, T.** Stock movement prediction using hybrid normalization technique and artificial neural network [Text] // International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration. – 2021; – № 8(83). – P.1336-1350. DOI:10.19101/IJATEE.2021.874387.

3 **Jain, S., Shukla, S., Wadhvani, R.** Dynamic selection of normalization techniques using data complexity measures [Text] // Expert Systems with Applications. – 2018. – Vol. 106. – P. 252-262.

4 **Kumari, B., Swarnkar, T.A.** Comparative Analysis of Data Standardization Methods on Stock Movement. [Text] // Intelligent and Cloud Computing. Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022, –Vol. 286.

5 **Ramon-Julvez, U., Hernandez, M., Mayordomo E.** and Adni. Analysis of the Influence of Diffeomorphic Normalization in the Prediction of Stable [Text] // VS Progressive MCI Conversion with Convolutional Neural Networks IEEE 17th International Symposium on Biomedical Imaging. – 2020. – P. 1120-1124, doi: 10.1109/ISBI45749.2020.9098445.

6 **Yi, J., Kim, B. and Chang, B.** Embedding Normalization: Significance Preserving Feature Normalization for Click-Through Rate [Text] // Prediction. International Conference on Data Mining Workshops. – 2021. – P. 75-84, doi: 10.1109/ICDMW53433.2021.00016.

7 **Fafard, A., Van Aardt, J., Coletti, M. and Page, D. L.** Global Partitioning Elevation Normalization Applied to Building Footprint Prediction [Text] // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2020. – № 13. – P. 3493-3502. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3002502.

8 **Vijayabhanu, R., Radha V.** Statistical Normalization techniques for the prediction of COD level for an anaerobic wastewater treatment plant [Text] //

CCSEIT 12: Proceedings of the Second International Conference on Computational Science, Engineering and Information Technology. 26 October. – 2012. – P. 232–236.

9 **Zeghoud, S., Ali, S. G., Ertugrul, E.** et al. Real-time spatial normalization for dynamic gesture classification [Text] // The Visual Computer. – 2022. – № 38, – P. 1345–1357.

10 Dingran Zhang et al. The Research on Improving the Precision of The Polymer IFHI By BP Neural Network of The Method Data Normalization [Text] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2021. Vol. 692. – P. 032067.

11 **Shalabi L.A.** Data Mining: A Preprocessing Engine [Text] // Journal of Computer Science – 2006. Vol 2. – P. 735–739.

12 stats.gov.kz [Electronic resource]

13 **Какезанова З.** Влияние биогумуса «Павлодарский» на свойства почвы [The influence of «Pavlodarskiy» biohumus on soil properties] // XI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu» (XI International Scientific and Practical Conference «Agrarian Science for Agriculture» – 2016. – № 2. – P. 109–110.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*С. Е. Шарипова¹, А. С. Аканова², Н. Н. Осанова³, Е. Б. Шарипов⁴

^{1,2,4}С. Сейфуллин атындағы агротехникалық университет,

Қазақстан Республикасы, Нур-Султан қ.,

³Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

БИДАЙ ӨНІМДІЛІГІН БОЛЖАУ ҮШІН КІРІС ДЕРЕКТЕРДІ ҚАЛЫПҚА КЕЛТІРУ

Бұл мақалада бидай өнімділігін болжау үшін деректерді қалыпқа келтіру қарастырылады. Мақала шеңберіндегі зерттеу нысаны нейрондық желінің кірісі болып табылады. Осы зерттеу аясында 1997 жылдан 2021 жылға дейін бидай өнімділігіне құрамында фосфор мен азот бар тыңайтқыштарды енгізу сияқты параметрлердің әсері қарастырылады.

Зерттеу барысында минимаксті, z-орташа және робастикалық сияқты қалыпқа келтіру әдістері қарастырылды. Одан кейін қолда бар деректерді қалыпқа келтіру жүзеге асырылды. Алынған мәліметтер арқылы бидай өнімділігін болжаудың нейрондық желісі оқытылды. Нәтижесінде оқу қателігі және оқытудың дәлдігі сияқты

көрсеткіштер бойынша қалыпқа келтіру әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері бойынша қалыпқа келтірудің робастикалық әдісі жақсы нәтижеге әкелді: қате 0,01. Нәтижелер бірдей мәліметтер жиынтығына бірдей Машиналық оқыту әдісін қолдана отырып, қалыпқа келтіру әдістерінің әр түрлі түрлері қолданылған кезде, нәтиже әр түрлі болуы мүмкін екендігімен түсіндіріледі. Тұрақты қалыпқа келтіруді қолдану оңай және басқа қалыпқа келтіру әдістерімен салыстырғанда жақсартылған нәтиже береді.

Кілтті сөздер: нейрондық желі, қалыпқа келтіру, болжау, дақылдар, фосфор, тыңайтқыш.

*S. Sharipova¹, A. Akanova², N. Ospanova³, Ye. Sharipov⁴

^{1,2,4}S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

³Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 15.09.22.

NORMALIZATION OF INPUT DATA FOR WHEAT YIELD PREDICTION

This article discusses the normalization of input data for predicting wheat yield. The object of research within the framework of the article is the input data of the neural network. This study examines the impact of parameters such as the application of fertilizers containing phosphorus and nitrogen on wheat yields from 1997 to 2021.

In the course of the study, normalization methods such as minimax, z-score and robust normalization were considered and the normalization of the available input data was carried out. Using the obtained data, a neural network was trained to predict wheat yield. As a result, a comparative analysis of normalization methods was carried out in terms of such indicators as training error and training accuracy.

According to the results of the study, the robust normalization method led to the best result: an error of 0.01. The results obtained are explained by the fact that when different types of normalization methods are applied to the same dataset using the same machine learning method, the result may differ. Robust normalization is easy to use and gives better results than other normalization methods.

Keywords: neural network, normalization, forecasting, crops, phosphorus, fertilizer.

МРНТИ 44.39.29

<https://doi.org/10.48081/OBSP7632>

*К. С. Шоланов¹, А. С. Омаров²

^{1,2}Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ С ЗОНТОВЫМ ПАРУСОМ

Объектом исследования в работе является парусная ветровая электростанция (ПВЭС) с зонтовым рабочим органом, предназначенная для использования на обширных территориях со средней скоростью ветра от 3 м/с. Цель исследования: совершенствование источников возобновляемой энергии путем изменения методов преобразования ветровой энергии в электрическую и модернизацией конструкции одного из существующего типа ПВЭС. Рассмотрены основные направления исследований в области ветровой энергетики. Раскрыты основные недостатки современных турбинных ВЭС по сравнению с парусной. Проведен аэродинамический анализ паруса в виде зонта в статическом положении с различными типами аэродинамического сечения и характеристиками в программной среде SolidWorks. Выбран парус с лучшими аэродинамическими характеристиками профиля. Разработаны конструкции узлов управляемого зонтового паруса, актуатора, составленного из управляемой демпфирующей системы и системы отбора мощности (СОМ). Описана технология преобразования ветра в электрическую энергию с помощью модернизированного паруса в виде зонта. Результаты исследования позволяют создать управляемый возобновляемый источник электрической энергии имеющий возможность работать с номинальной мощностью при скоростях ветра от 3 м/с и выше независимо от изменения скорости и направления ветра.

Ключевые слова: возобновляемый источник энергии, парусная ветровая электростанция, зонтовой парус, параллельный манипулятор, актуатор, аэродинамические показатели.

Введение

Экологическая ситуация в мире, связанная с глобальным потеплением, приводит к необходимости замещения органического топлива, загрязняющих окружающую среду, возобновляемыми источниками энергии. Доступная энергия ветра, которая может быть преобразована в другие виды энергии, приблизительно $1,26 \times 10^9$ МВт [1]. Так как это значение в 20 раз превышает глобальное потребление энергии, то энергия ветра в принципе может удовлетворить все энергетические потребности мира. В связи с этим вопрос преобразования ветра в электрическую энергию является наиболее актуальным среди возобновляемых источников энергии.

В настоящее время широкое распространение приобрели турбинные ветровые электростанции (ТВЭС) с вертикальным и горизонтальным расположением роторов, работающие за счет сил сопротивления и подъема соответственно. Горизонтальные ТВЭС оказались более востребованы ввиду большей энергоэффективности [2].

Проведен анализ современных исследований в области ветроэнергетики направленных на совершенствование ТВЭС. При систематизации результатов анализа исследований ТВЭС они распределены по группам в зависимости от целей исследования. Причем внутри каждой группы приведены основные направления исследований следующим образом:

- оптимизации работы преобразования с помощью: МРРТ технологии для ТВЭС с синхронным генератором [3]; регулирования энергии для ТВЭС с индукционным генератором [4]; решения проблем с падением напряжения [5]; влияния потоков реактивной энергии [6]; демпфирования энергоколебаний в системе [7]; частотного регулирования [8].

- мониторинга окружающих условий и работоспособности ВЭС: используя SCADA-системы [9]; используя большие данные [10]; используя прогностические методы [11].

- модернизации систем управления для регулирования скорости вращения и снижение нагрузки на ротор: управлением индивидуального наклона лопасти [12]; контроллеры на основе наблюдателей возмущений [13]; мультивариативное робастное управление [14]; многокритериальные и модельные прогностические подходы [15]. Исследования аэродинамики лопастей [16].

Анализ исследований показывает, что несмотря на все достоинства ТВЭС, важным условием для их работоспособности является наличие постоянного ветра со скоростью от 8 м/с, что обуславливает территориальное ограничение по применению таких ВЭС. Основные производственные мощности расположены вдали от береговых линий, где находятся ТВЭС, что влечет расходы на транспортировку выработанной электроэнергии.

Территориальные зоны, расположенные вдали от линий электропередач и имеющие средние скорости ветра до 8 м/с не могут быть охвачены ТВЭС. Другой проблемой является резкопорывистый и непредсказуемый характер ветра, особенно присущий странам центральной и западной Азии, который делает невозможным применение ТВЭС для энергоснабжения.

Следует отметить, что новым направлением исследований преобразования ветра в электрическую энергию является разработка ВЭС, способных работать при малых скоростях ветра с достаточно высоким КПД. Одной из таких разработок является безопасная ВЭС [17], использующая силу сопротивления и вихревые (турбулентные) потоки воздушных масс для преобразования возникающих вибраций рабочего органа в электрическую энергию. Другой инновацией является парусная ВЭС [18,19], основанная на создании колебаний рабочего органа за счет одновременного воздействия сил подъема и сопротивления ветра. С помощью актуаторов манипуляторного преобразователя (МП) Sholkor колебания рабочего органа преобразуются в электрическую энергию.

В данной статье рассматриваются вопросы модификации парусной ВЭС описанных в работах [18,19]. Причем модификация включает введение конструктивных изменений, а именно: регулируемого зонтового паруса и актуаторов МП.

Материалы и методы

Парусная технология издревле используется в преобразовании энергии ветра в механическую энергию (мельницы, кораблестроение). Она позволяет воспринимать как слабые дуновения, так и сильные порывы ветра. В рассматриваемой ВЭС (рис.1) парус является составной частью рабочего органа, совершающего пространственные циклические движения и выполняет роль чувствительного элемента.

Конструкция ПВЭС составлена из паруса 1 в виде зонта с выбранным аэродинамическим профилем; жестко связанного с парусом мачты 2 и верхней платформы 3 манипулятора, которые образуют рабочий орган (РО). Отверстие в центре паруса дает возможность РО после наклона на определенный угол возвратиться в исходное равновесное положение. Тканевая (парашютная) поверхность паруса 1 обеспечивает необходимые аэродинамические характеристики. Верхняя подвижная 3 и нижняя неподвижная платформы манипулятора 4 связаны шестью актуаторами: тремя реберными 5 и тремя диагональными 6. Актуаторы связаны с платформами посредством многозвенных соединений [20, 161]. В данной работе, в конструкции ПВЭС, описанных в работах [18,19] внесены следующие изменения: предложен парус в виде зонта с аэродинамическим профилем, который для изменения парусности складывается и раскрывается в виде веера; предлагается

изменить конструкцию актуаторов шестиподвижного манипуляторного преобразователя Sholkor. Во-первых, для того, чтобы управлять движением РО в актуаторы включены демфирующие системы, состоящие из двух пружин, одна из которых имеет возможность автоматически регулировать преднатяг пружины. Во-вторых, в реберные актуаторы добавлены системы отбора мощности для преобразования возвратно-поступательного движения штока во вращательное движение вала генератора электрического тока. Ниже приведены и подробно описаны введенные модификации.

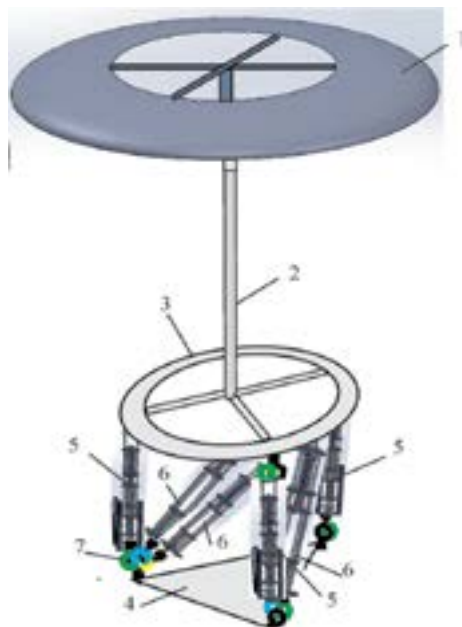


Рисунок 1 – ВЭС с качающимся зонтовым парусом

При выборе паруса в парусных ВЭС принято решать задачи выбора формы и аэродинамического профиля сечения, обеспечивающие высокие значения аэродинамических сил сопротивления и подъема. При этом наиболее предпочтительными оказались паруса с плоским сечением, изготовленные из легких материалов [19]. Регулирование парусности в этих ПВЭС производилось изменением положения паруса по высоте мачты. Однако анализ такой конструкции показал, что она имеет ряд недостатков: во-первых, при сильном ветре требуются существенные затраты энергии, чтобы опустить парус; во-вторых, упругая деформация мачты, а также,

например, обледенения препятствуют перемещению паруса по мачте. Для того, чтобы исключить эти трудности регулирования парусности предлагается конструкция паруса в виде зонта с наружной аэродинамической поверхностью, создающей одновременное действие как сил сопротивления, так и силы подъема. С помощью систем автоматического проектирования, таких как SolidWorks и пакета Flow Simulation промоделированы паруса двух видов А35 и NASA-0024 отвечающие требованиям одновременного действия сил сопротивления и подъема при изменении положения и геометрических размеров. Полученные данные сведены в Табл. 1.

Таблица – 1 Аэродинамические характеристики профилей, полученных с помощью ПП SolidWorks и Flow Simulation

Название профиля	Угол атаки, градус	Хорда, м	Внут. диам., м	Подъем. сила, Н	Сила сопротив., Н	Коэф. п.с.	Коэф. с.с.
A35	22	1	2	18,51	9,34	0,28	0,14
A35	24	1	2	18,28	10,06	0,28	0,15
A35	26	1	2	17,48	10,62	0,27	0,16
A35	0	1	1	6,03	2,02	0,16	0,05
A35	0	1	1,5	7,49	2,76	0,15	0,06
A35	0	1	2	8,96	2,94	0,15	0,05
NASA-0024	14	1	2	18,99	5,68	0,30	0,09
NASA-0024	16	1	1,5	14,87	5,15	0,29	0,10
NASA-0024	16	1	2	19,81	6,46	0,31	0,10
NASA-0024	18	1	2	18,35	7,40	0,29	0,12
NASA-0024	20	1	2	17,97	8,25	0,28	0,13
NASA-0024	22	1	2	17,06	9,04	0,27	0,14

По результатам данных из таблицы 1, следует, что аэродинамические силы значительно возрастают при увеличении внутреннего диаметра паруса и неизменной длине хорды профиля. Каждый из профилей имеет критический угол атаки, при котором достигаются максимальные аэродинамические силы и коэффициенты (А35 – 24 градуса, NASA-0024 – 16 градусов). По полученным результатам, подтверждается закономерность изменения коэффициентов сил из [19] в зависимости угла атаки. По результатам аэродинамического анализа для зонтового паруса выбран профиль А35 с внутренним диаметром 2м и углом атаки в 24 градуса.

Принцип регулирования парусности основан на том, что зонт раскрывается и складывается в виде веера, изменяя площадь соприкосновения с воздушным потоком в зависимости от скорости ветра.

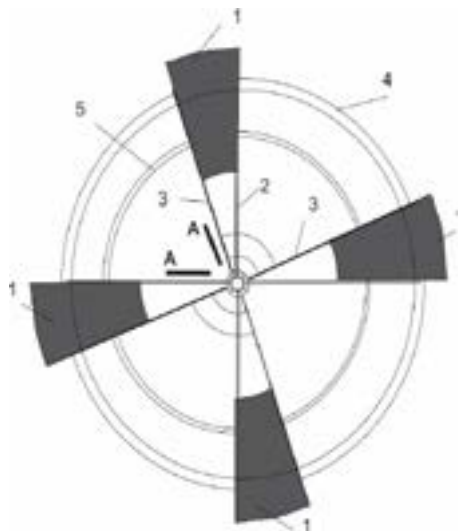


Рисунок 2 – Веерообразный зонтовый парус

Парус 1 состоит из вееров, расположенных в 4-х квадрантах. Причем одной стороной каждый веер закреплен за неподвижную крестовину 2, а другой стороной - за подвижную крестовину 3. При движении подвижной крестовины веер перемещается по направляющим в виде наружного 4 и внутреннего 5 обода (рис.2). Изменение парусности по принципу веера осуществляется за счет вращения подвижной крестовины 7 с помощью механизма управления парусностью (рис. 3).

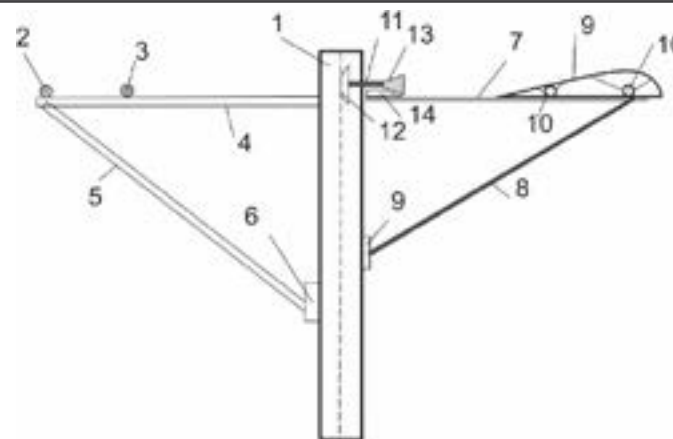


Рисунок 3 – Устройство регулирования парусности

Вид А-А, приведенный на рисунке 3, показывает механизм управления веерами зонта для регулирования парусностью. Здесь с одной стороны мачты показаны наружные 2 и внутренние 3 ободы, расположенные на неподвижных крестовинах 4, которые с помощью четырех распорок 5 крепятся с помощью бандажа 6 к мачте. С правой стороны показана подвижная крестовина 7 с четырьмя распорками 8, вращающимся в подшипниках 9. К каждому лучу подвижной крестовины 7 закреплена конструкция спицы 9, которая с помощью втулок 10 движется по ободу 2 и 3. Кроме указанных спиц используются промежуточные спицы, которые в каждом веере делят угол 90° на равные углы. Ко всем спицам крепится материал полотна паруса. Из-за конфигурации наружной кромки спиц, натянутый на спицы купол каждого веера имеет аэродинамический профиль сечения, который обеспечивает появление сил сопротивления и подъема одновременно. Механизм привода вееров зонта составлен из вала 11, проходящего через корпус мачты 3, в середине которого расположен верхний шкив 12 гибкой передачи связанный с управляемым реверсивным электродвигателем (не показан на рисунке) расположенным на подвижной платформе МП. На оба конца вала насажены конические самотормозящие шестерни 13, образующие зацепление с зубчатым колесом 14, жестко связанным с двумя противоположными лучами подвижной крестовиной 7. Поворотом подвижной крестовины на определенный угол, собираются или раскрываются все веера одновременно с помощью механизма управления.

В конструкции ПВЭС важная роль отводится манипуляторному преобразователю, который преобразует движение РО в движение актуаторов.

В рассматриваемой ПВЭС с зонтовым парусом расширены функции актуаторов МП из параллельного манипулятора Sholkor. На рисунке 4 представлена конструкция актуатора. Актуатор составлен из подвижной части и условно неподвижной части. Подвижная часть включает каретку состоящую из верхней 1 и нижней 2 плиты соединенных со штоком 3 и фланцем 4. Условно неподвижную часть образуют жестко связанные плиты 5, 6, 7 и вал 8. Следует отметить, что название «условное» применяется потому что эта часть образует многосвязное сферическое соединение с неподвижной платформой МП и фактически совершает некоторые сферические движения. Движение подвижной каретки относительно неподвижной части сверху ограничивает пружина 9, а снизу – пружина 10, образующие управляемую демпфирующую систему за счет электродвигателя 11 управляющего преднатягом пружины 9. На валу 8 установлены обгонные муфты 12, на которые насажены барабаны 13, связанные с помощью тросов 14 с плитами каретки.

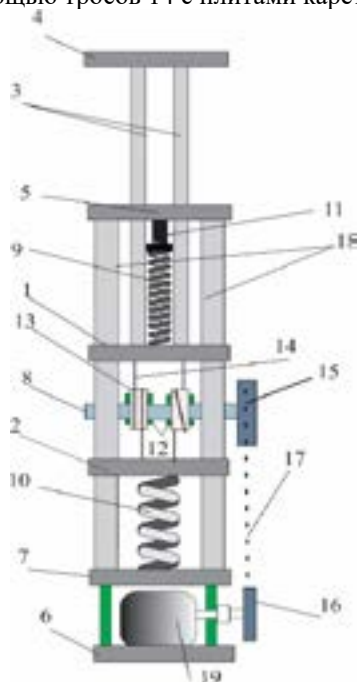


Рисунок 4 – Актуатор

Вал 8, тросовый механизм и ременная передача со шкивами 15,16 и ремнем 17 образуют систему отбора мощности (СОМ). СОМ

позволяет преобразовать возвратно-поступательное движение каретки по направляющим 18 во вращательное движение в одном направлении (за счет обгонных муфт 12 вала генератора 19 электрического тока.

Результаты и обсуждение

Технология преобразования энергии движения воздушной массы, применяемая в ПВЭС, заключается в том, что энергия ветра воспринимается парусом, посредством шестиподвижного манипуляторного преобразователя преобразуется в электрическую энергию. Для совершенствования технологии путем повышения эффективности преобразования энергии ветра в электрическую энергию проводится модификация парусной ВЭС. Во-первых, при модификации изменена конструкция паруса, которая имеет высокие аэродинамические характеристики и является менее энергоемкой для управления парусностью. Во-вторых, модификация заключается в изменении конструкции актуаторов манипуляторного преобразователя. При этом, введение управляемой демпфирующей системы, системы отбора мощности, а также встроенного генератора электрического тока значительно уменьшают потери мощности на промежуточные механические узлы, исключает, например, применение дорогого, не эффективного линейного генератора электрического тока. Технология преобразования энергии ветра в электрическую энергию в модифицированной ПВЭС позволяет всем шести актуаторам участвовать в управлении движением рабочего органа и генерировании электрического тока. Управление движением РО производится автоматическим изменением преднатяга пружины демпфирующей системы. Например, если амплитуда колебания актуатора РО выше 100, то увеличивается преднатяг пружины 9. Преобразование электрической энергии генераторов осуществляется схемой системы генерирования, составленной в основном из элементов силовой электроники.

Выводы

В результате модификации получена ПВЭС, в которой зонтовый парус удобен для управления парусностью и обладает более высокой чувствительностью к изменениям направления и скорости ветра. Изменена конструкция актуатора МП путем введения в каждый актуатор демпфирующей системы, СОМ и встроенного генератора электрического тока. Эти модификации повышают эффективность преобразования энергии ветра в электрическую энергию в следствии сокращения множества промежуточных узлов понижающих КПД ПВЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Tong, W.** Fundamentals of Wind Energy. Wind Power Generation and Wind Turbine Design. – WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, 2010. – Vol. 44. – P. 3–48. – DOI: 10.2495/978-1-84564-205-1/01.
- 2 **Ashwill, T., Sutherland, H., Berg, D. A** retrospective of VAWT technology. – 2012. – DOI: 10.2172/1035336.
- 3 **Hussain, J., Mishra, M. K.** Adaptive Maximum Power Point Tracking Control Algorithm for wind energy conversion systems // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2016. – Vol. 31. – No. 2. – P. 697–705. – DOI: 10.1109/tec.2016.2520460.
- 4 **Bubshait, A. S., Mortezaei, A., Simoes, M. G., Busarello, T. D.** Power quality enhancement for a grid connected wind turbine energy system // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2017. – Vol. 53. – No. 3. – P. 2495–2505. – DOI: 10.1109/tia.2017.2657482.
- 5 **Xiao, X. Y., Yang, R. H., Chen, X. Y., Zheng, Z. X., Li, C. S.** Enhancing fault ride-through capability of DFIG with modified SMEs-FCL and RSC Control // IET Generation, Transmission and Distribution. – 2017. – Vol. 12. – No. 1. – P. 258–266. – DOI: 10.1049/iet-gtd.2016.2136.
- 6 **Ou, R., Xiao, X. Y., Zou, Z. C., Zhang, Y., Wang, Y. H.** Cooperative control of SFCL and reactive power for improving the transient voltage stability of grid-connected wind farm with dfigs // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2016. – Vol. 26. – No. 7. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/tasc.2016.2574344.
- 7 **Gao, C., Liu, H., Jiang, H., Li, Y., Tang, X.** Research on the sub-synchronous oscillation in wind power connected to series compensated power system and its influencing factors // CES Transactions on Electrical Machines and Systems. – 2017. – Vol. 1. – No. 3, – P. 334–340. – DOI: 10.23919/tems.2017.8086113.
- 8 **Ochoa, D., Martinez, S.** Fast-frequency response provided by DFIG-wind turbines and its impact on the grid // IEEE Transactions on Power Systems. – 2017. Vol. 32. – No. 5. – P. 4002–4011. – DOI: 10.1109/tpwrs.2016.2636374.
- 9 **Sun, P., Li, J., Wang, C., Lei, X.** A generalized model for wind turbine anomaly identification based on SCADA data // Applied Energy. – 2016. – Vol. 168. P. 550–567. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.01.133.
- 10 **Canizo, M., Onieva, E., Conde, A., Charramendieta, S., Trujillo, S.** Real-time predictive maintenance for wind turbines using big data frameworks // IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM). – 2017. DOI: 10.1109/icphm.2017.7998308.

- 11 **Tamilselvan, P., Wang, Y., Wang, P.** Optimization of wind turbines operation and maintenance using failure prognosis // IEEE Conference on Prognostics and Health Management. – 2012. DOI: 10.1109/icphm.2012.6299538.
- 12 **Dou, Z., Peng, S., Ling, Z., Cai, X.** Reduction of wind turbine torque fluctuation using individual pitch control based on edgewise moment // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 5. – No. 24. – P. 5665–5676. DOI: 10.19026/rjaset.5.4253.
- 13 **Girsang, I. P., Dhupia, J. S.** Collective pitch control of wind turbines using stochastic disturbance accommodating control // Wind Engineering. – 2013. – Vol. 37. – No. 5. – P. 517–533. DOI: 10.1260/0309-524x.37.5.517.
- 14 **Hassan, H. M., ElShafei, A. L., Farag, W. A., Saad, M. S.** A robust LMI-based pitch controller for large wind turbines // Renewable Energy. – 2012. – Vol. 44. – P. 63–71. DOI: 10.1016/j.renene.2011.12.016.
- 15 **Fakharzadeh J. A., Jamshidi, F., Talebnezhad, L.** New approach for optimizing energy by adjusting the trade-off coefficient in wind turbines // Energy, Sustainability and Society. – 2013. – Vol. 3. – No. 1. – DOI: 10.1186/2192-0567-3-19.
- 16 **Dutton, A. G., Bonnet, P. A., Hogg, P., Leong, Y. L.** Novel materials and modelling for large wind turbine blades // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. – 2010. – Vol. 224. – No. 2. – P. 203–210. – DOI: 10.1243/09576509jpe858.
- 17 **Oswal, P.** Bladeless Wind Turbine // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2018. – Vol. 6. – No. 3. – P. 2549–2553. – DOI: 10.22214/ijraset.2018.3576.
- 18 **Sholanov, K. S., Kabanbayev, A., Abzhaparov, K.M.** Study and Selection of Parameters of Automatically Controlled Wind Power Station with Swaying Sails // International journal of renewable energy research. – 2020. – Vol. 11. – No. 2. – P. 723–737. – DOI: 10.20508/ijrer.v10i2.10581.g7947.
- 19 **Sholanov, K. S., Mirzabayev, B. I., Ceccarelli, M.** Expansibility of Electric Power Production by Sail Wind Power Stations // International Journal of Mechanics and Control. – 2021. – Vol. 22. – No. 02. – P. 117–126.
- 20 **Sholanov, K. S.** Parallel Manipulators of Robots: Theory and Applications. – Springer, 2020. – P. 119–132. – DOI: 10.1007/978-3-030-56073-7_7.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*Қ. С. Шоланов¹, А. С. Омаров²

^{1,2}Ө. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ. Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ЗОНТТЫҚ ЖЕЛКЕНДІ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ТҮРЛЕНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЖӘНЕ КОНСТРУКЦИЯСЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ

Зерттеу нысаны желдің орташа жылдамдығы 3 м/с болатын кең аумақтарда пайдалануға арналған зонттық жұмыс органы бар желкенді жел электр станциясы (ЖЖЭС). Зерттеу мақсаты: жел энергиясын электр энергиясына түрлендіру әдістерін өзгерту және ЖЭС-тың қолданыстағы түрінің бірінің конструкциясын жаңғырту арқылы жаңартылатын энергия көздерін жетілдіру. Жел энергетикасы саласындағы зерттеулердің негізгі бағыттары қарастырылды. Қазіргі заманғы турбиналық ЖЭС желкенді салыстырғанда негізгі кемшіліктер анықталды. SolidWorks бағдарламалық ортасында әр түрлі аэродинамикалық қимасы және сипаттамалары бар статикалық күйдегі зонттық түріндегі желкендерге аэродинамикалық талдау жүргізілді. Ең жақсы аэродинамикалық профиль сипаттамалары бар желкен таңдалды. Басқарылатын демпферлік жүйеден және қуатты іріктеу жүйесінен (ҚАЖ) тұратын актуатордың және басқарылатын зонттық желкені тораптарының конструкциялары өзірленді. Зонт түріндегі жаңартылған желкенді пайдаланып желді электр энергиясына түрлендіру технологиясы сипатталған. Зерттеу нәтижелері желдің жылдамдығы мен бағытының өзгеруіне қарамастан, желдің жылдамдығы 3 м/с және одан жоғары болған кезде номиналды қуатпен жұмыс істей алатын басқарылатын жаңартылатын электр энергиясын көзін құруға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия көзі, желкенді жел электрстанциясы, зонттық желкені, параллельдік манипулятор, актуатор, аэродинамикалық көрсеткіштер.

*K. S. Sholanov¹, A. S. Omarov²

^{1,2}A. Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Material received on 15.09.22.

DESCRIPTION OF THE CONSTRUCTION AND TECHNOLOGY OF WIND ENERGY CONVERSION BY THE POWER PLANT WITH AN UMBRELLA SAIL

The object of the research is a sailing wind power plant (SWPP) with an umbrella working body, designed for use in vast areas with an average wind speed of 3 m/s. The purpose of the study: improving renewable energy sources by changing the methods of converting wind energy into electrical energy and upgrading the construction of one of the existing types of SWPP. The main directions of research in the field of wind energy are considered. The main disadvantages of modern turbine WPPs compared to sailing ones are revealed. An aerodynamic analysis of an umbrella-shaped sail in a static position with various types of aerodynamic cross-section and characteristics is carried out in the SolidWorks software. A sail with the best aerodynamic profile characteristics has been chosen. The designs of the nodes of controlled umbrella sail and actuator, composed of a controlled damping system and power take-off system (PTOS), have been developed. The technology of converting wind into electrical energy with the help of an upgraded sail in the form of an umbrella is described. The results of the research make possibilities to create a controlled renewable source of electric energy that can operate with rated power at wind speeds of 3 m/s and higher, regardless of changes in wind speed and direction.

Keywords: renewable energy sources, wind power plant, umbrella sail, parallel manipulator, actuator, aerodynamics.

<https://doi.org/10.48081/RRAK3496>

***И. А. Шумейко¹, А. Ж. Касенов², С. М. Нуркимбаев³**

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ С БУРЕВОЙ ЗАЩИТОЙ

Казахстан в силу своего географического расположения и климатических условий обладает значительными ресурсами в виде солнечной энергии и энергии ветра. На большей территории страны среднегодовые скорости ветра составляют 4-5 м/с, а в ряде регионов превышают 6 м/с, что создаёт хорошие условия для развития ветроэнергетики.

Развитие энергетики в Павлодарской области идёт на основе невозобновляемых источников энергии, что ведёт к истощению природных запасов топлива и ухудшению экологической обстановки. Создание и использование возобновляемых источников энергии, в частности ветровых агрегатов, создаёт благоприятные условия для устойчивого социально-экономического развития Республики Казахстан. Особенно это актуально для удалённых от линий электропередач крестьянских хозяйств, отгонных пастбищ, фермерских хозяйств. Целесообразно использование ветроэнергетических установок (ВЭУ) и с целью экономии электрической энергии как в сельской местности, так и в частных подворьях в городских условиях.

Применяемые, в частности в Павлодарской области, трёхлопастные ВЭУ малой мощности не имеют автоматического регулирования частоты вращения ветрового колеса (ВК) и могут при высокой скорости ветра раскручиваться до такой степени, что выходит из строя электроаппаратура, или даже до разрушения лопастей. Мониторинг ВЭУ Павлодарской области, в основном кустарного производства, показал их низкую эффективность, неустойчивость к порывам ветра, отсутствие какой-либо буревой защиты.

Предлагается конструкция ВЭУ малой мощности, повышение эффективности которой будет достигнута путём использования в ВК оптимальных конструктивных параметров (число лопастей, их

форма, угол установки, относительная площадь лопасти), полученных в процессе экспериментальных исследований на действующих моделях ВЭУ с помощью аэродинамической трубы, обеспечивающей постоянство скорости воздушного потока.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка (ВЭУ), ветровое колесо (ВК), момент, частота вращения, мощность, эксперимент, конструкция, модель, скорость воздушного потока, механизм

Введение

Казахстан в силу географического расположения и климатических условий обладает значительными ресурсами в виде солнечной энергии и энергии ветра. На большей территории страны среднегодовые скорости ветра составляют 4-5 м/с, а в ряде регионов превышают 6 м/с, что создает хорошие условия для развития ветроэнергетики [1]. Развитие энергетики в Павлодарской области идёт на основе невозобновляемых источников энергии, что ведёт к истощению природных запасов топлива и ухудшению экологической обстановки.

Основным источником электроэнергетики в Казахстане является угольная энергетика, базирующаяся на дешёвых Экибастузских углях. В настоящее время угольная отрасль республики обеспечивает выработку в Казахстане до 80 % электроэнергии [2, 3]. Чрезмерное потребление каменного угля приводит к истощению его природных запасов и к ухудшению экологической обстановки.

Кроме того, существующая концентрация генерирующих мощностей вблизи угольных месторождений при больших размерах территории приводит к необходимости иметь протяжённые электрические сети, приводящие к значительным потерям электроэнергии при транспортировке. Общие потери электроэнергии составляют примерно 20–40 % от её потребления. Содержание протяжённых электросетей при небольших нагрузках становится экономически нерентабельным. Это создаёт проблему с электроснабжением отдалённых населённых пунктов (в основном сельские территории). Использование местных возобновляемых источников энергии является экономической альтернативой централизованному энергообеспечению, особенно для удалённых районов, испытывающих дефицит электроэнергии.

В некоторых случаях требуется электроснабжение удалённых от линий электропередач точек: отгонных пастбищ, фермерских хозяйств и др. В таких случаях проблема электроснабжения может быть решена только с помощью альтернативных источников небольшой мощности.

Применяемые, в частности, в Павлодаре и Павлодарской области трёхлопастные ветроэнергетические установки (далее ВЭУ) малой мощности не имеют автоматического регулирования частоты вращения ветрового колеса и могут при высокой скорости ветра раскручиваться до такой степени, что выходит из строя электроаппаратура, или даже до разрушения лопастей (рисунок 1). Установленная на одном из отгонных пастбищ (отгон Дәмелі, с. Казахстанское, Лебяжинский район, Павлодарская область) ВЭУ модели АВЭУ6-4М мощностью 4 кВт находится в нерабочем состоянии: выведено из строя двухлопастное ветровое колесо (далее ВК) в результате воздействия ураганного порыва ветра, не работает механизм ориентации навстречу воздушному потоку (рисунок 2). Наблюдение за действующими ВЭУ, в основном кустарного производства, в некоторых сёлах Лебяжинского района Павлодарской области показали их низкую эффективность и неустойчивость к ураганным порывам ветра (рисунок 3).



Рисунок 1 – Разрушение лопастей



Рисунок 2 – ВЭУ, отгон Дәмелі

Развитие электроэнергетики должно определяться, прежде всего, экономической целесообразностью и техническими возможностями, выявленными в процессе рассмотрения всего комплекса вопросов, относящихся к оптимальному энергообеспечению различных объектов народного хозяйства и требованиям потребителей. Комплексное рассмотрение

всех факторов даёт объективные результаты, на основании которых можно судить об экономической целесообразности и технических возможностях применения в конкретных условиях той или иной ветроэнергетической установки.

Однако в зависимости от конкретных условий и целей эффективность использования ВЭУ может оцениваться и другими критериями, которые должны рассматриваться или в качестве главных, или как критерии субъективности варианта, т.е. примыкающие к главному критерию.



Рисунок 3 – Действующие ВЭУ в сёлах Павлодарской области

Принципиальный же подход заключается в том, что для эффективного использования энергии ветра в каждом конкретном случае должна быть определена совокупность ряда факторов: высокие значения среднегодовой скорости ветра и соответствующая повторяемость его режимов; возможно меньшие вариации скоростей ветра и их направлений; наличие транспортной сети и удобных для установки ВЭУ участков [3].

В таблице 1 приведён потенциал трёх наиболее благоприятных для установки ветровых электростанций регионов Казахстана.

Таблица 1 – Генерирующий потенциал ветровой энергетики РК

№ п/п	Регион передающих сетей	Потенциал ВЭУ (МВт)
1	Западный	2200
2	Северный	11878
3	Южный	3162
Итого		17240

Как видно из таблицы, перспективы использования ветроэнергетики в Казахстане значительны. Большая часть территории Казахстана имеет высокую скорость ветра. По оценкам экспертов Казахстан одна из стран мира, с наиболее подходящими условиями для развития ветроэнергетики.

Одним из актуальных вопросов является электроснабжение сельских потребителей. В силу обширной территории Казахстана для электропередающих сетей характерна передача электроэнергии на большие расстояния. Значительная территория Казахстана и довольно низкая плотность населения в сельской местности обуславливают наличие значительной протяжённости сельских линий электропередач и низкую плотность нагрузки.

Содержание сельских электрических сетей большой протяжённости при низком уровне потребления, равно как и значительные потери, в значительной степени повышают себестоимость электроэнергии у потребителей.

Материалы и методы

В настоящее время в стране реализуется крайне небольшое количество проектов ветровой энергетики. Импортное же оборудование может не выдержать экстремальные погодные условия Казахстана, что даёт толчок для местного развития.

Комплекс ветротурбин Датской компании Vestas используется в районе г. Ерейментау (Акмолинская область). Эти установки используются для дополнительной подпитки электрических сетей от тепловых электростанций. Эти ВЭУ имеют трёхлопастное ВК очень большого диаметра, что определяет нетехнологичность конструкции ВК и, кроме того, эти ВЭУ не решают проблемы снижения потерь электроэнергии при передаче её на большие расстояния. Они не транспортабельны и по экономическим соображениям не могут применяться в точках, удалённых от линий электропередач (рисунок 4).

Также на рынке малой ветроэнергетики представлены небольшие фирмы, занимающиеся продажей ветроагрегатов из различных стран: «Zonhan Windpower», «Condor Air», «EnergyWind». Далее из Российских фирм предлагают установки ЗАО «Ветроэнергетическая компания», ООО «ЕвроСтандартСервис».

На рисунке 5 представлен агрегат АВЭУ-6 предназначенный для электропитания осветительных, бытовых и нагревательных приборов [4].



Рисунок 4 – Установки «Vestas»

Ветроколесо имеет две металлические лопасти, применена центробежно-аэродинамическая система регулирования поворотом лопастей. Диаметр ВК – 6 м, развиваемая мощность – 3,5 кВт. Номинальная частота вращения ВК (186 об/мин) достигается при скорости ветра 6-7 м/с. С целью обеспечения номинальной частоты вращения ротора генератора применён редуктор с передаточным отношением $i_p=13,5$. Механизм ориентации – виндроза с двумя червячными передачами ($i_{общ}=2350$). Недостаточная устойчивость лопастей к ураганным порывам ветра (рисунок 2), высокая скорость ветра для обеспечения номинальной частоты вращения ротора генератора, значительное понижение крутящего момента на валу генератора в связи с большим передаточным отношением редуктора ($i_p=13,5$), сложность механизмов регулирования частоты вращения ВК и его поворота навстречу воздушному потоку, как минимум, затрудняет использование агрегата АВЭУ-6 сельским потребителем.

В Казахстане проблемами повышения эффективности ветроустановок занимается КазНИИМЭСХ [5], при котором проводятся экспериментальные исследования ветроагрегатов типа «Ромашка».

В работе [6] приводятся результаты испытаний ВЭУ в крестьянском хозяйстве «Ар» Илийского района Алматинской области. Исследовались зависимости частоты вращения ВК от скорости ветра и производительности ВЭУ. Экспериментальные исследования проводились в естественных условиях, с непостоянством скорости ветра.

Предлагается опытный образец ветроэнергетической установки малой мощности с автоматическим регулированием частоты вращения и буревой

защитой, максимально использующей мощность ветрового потока на основе научно обоснованных конструктивных параметров ветрового колеса.

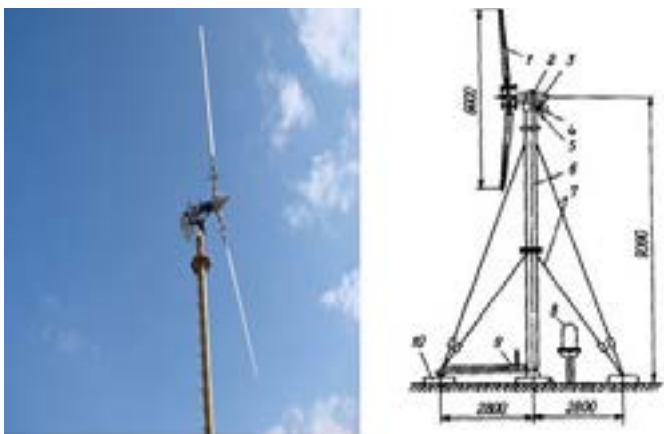


Рисунок 5 – Агрегат АВЭУ-6

Обоснование конструктивных параметров выполнялось на действующей модели с помощью установки, представленной на рисунке 6, с обеспечением постоянства скорости воздушного потока при помощи аэродинамической трубы.

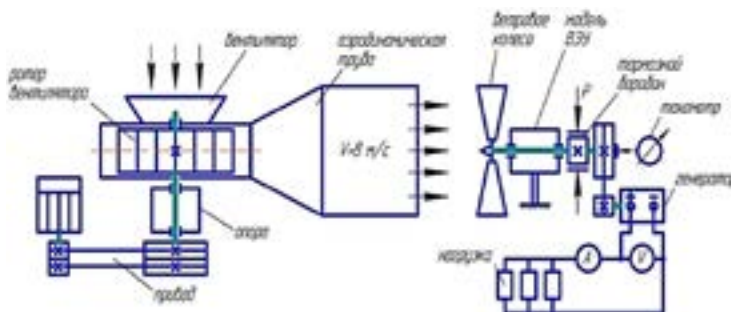


Рисунок 6 – Схема установки для исследования влияния конструктивных параметров ВК на частоту вращения, момент и мощность, развиваемых ветровым колесом

Для оценки выходных параметров ветроэнергетической установки в зависимости от входных конструктивных параметров ветрового колеса

разработана принципиальная схема модели и изготовлена модель ветровой установки, позволяющей изменять число лопастей от 2-х до 12-ти, т.е. на 2, 3, 4, 6 и 12 лопастей [7-10].

Средняя скорость воздушного потока на торце аэродинамической трубы составила 8 м/с.

Угол установки лопастей ветрового колеса обеспечивается путём их поворота и фиксации с помощью резьбового соединения. Для исследования зависимости момента M ($H \times m$), частоты вращения n (об/мин) и мощности N ($Вт$) от числа лопастей использовались лопасти различного профиля и относительной площади и формы.

Принято, что тормозной момент, останавливающий ВК при заданной скорости ветра, равен моменту, развиваемым ветровым колесом. Для создания и измерения тормозного момента было спроектировано и изготовлено специальное приспособление (рисунок 7).

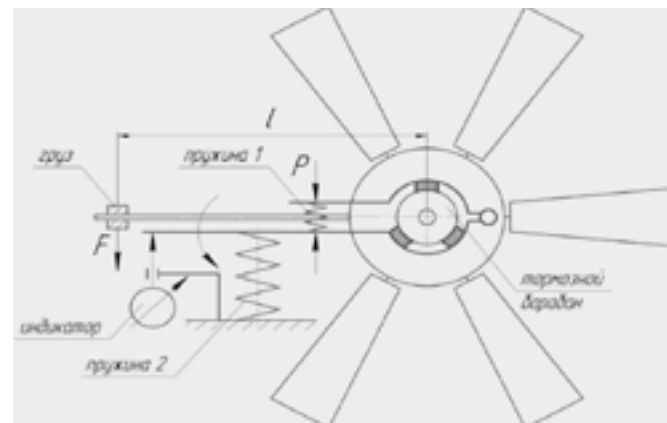


Рисунок 7 – Схема тарировки тормозного момента и его последующего измерения

В качестве примера на рисунке 8 приведены зависимости момента, частоты вращения и мощности от числа лопастей и угла установки для ВК с лопастями из листовой стали с переменной вогнутостью по длине лопасти и относительной площадью, равной 0,05 [9].

Как видно из приведённого примера наблюдается интенсивный рост момента с увеличением числа лопастей при незначительном падении частоты вращения ВК, вследствие чего имеет место значительный рост мощности, как основного параметра ВЭУ.

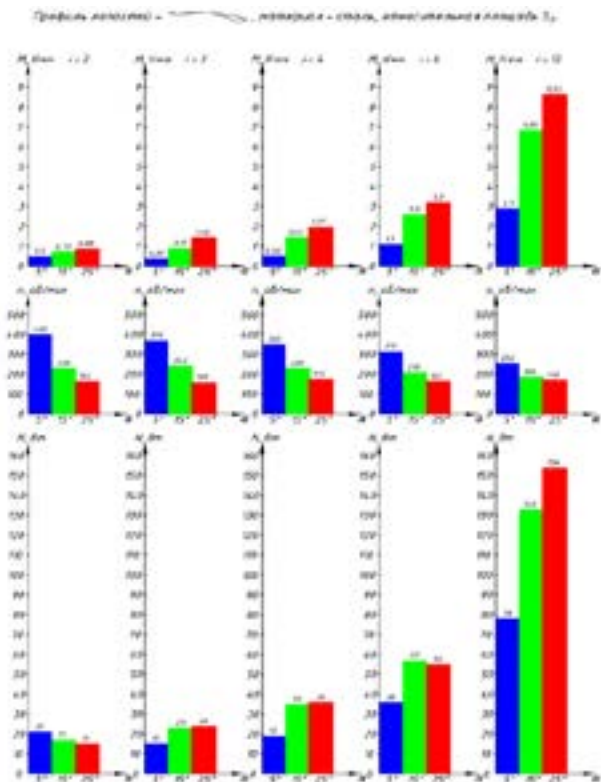


Рисунок 8 – Графики зависимости момента М, частоты вращения n и мощности N от угла установки лопастей и их числа для ВК с лопастями из листовой стали и относительной площадью 0,05

Достоверность результатов измерений подтверждается повторяемостью результатов измерений при многократном повторении одного и того же опыта. Разброс значений не превышает 2–3 %.

На основе проведённых экспериментальных исследований были определены: оптимальное число лопастей (рисунок 9), оптимальный угол установки (рисунок 10) и оптимальная относительная площадь лопасти ВК (рисунок 11).

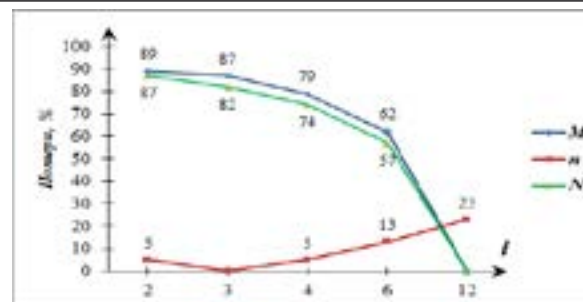


Рисунок 9 – График потерь выходных параметров в зависимости от числа лопастей

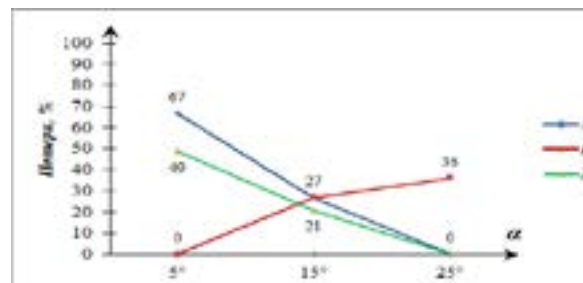


Рисунок 10 – График потерь выходных параметров в зависимости от угла установки лопастей

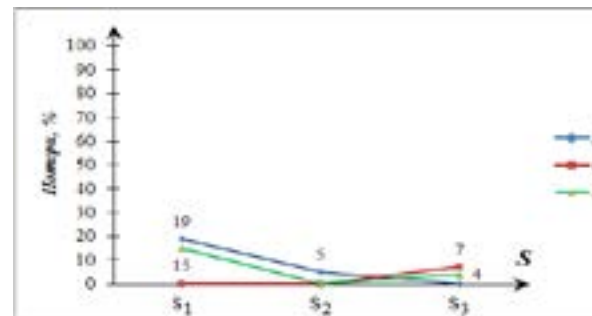


Рисунок 11 – График потерь выходных параметров в зависимости от относительной площади лопастей

Работы [5-9] показали, что для снабжения электроэнергией крестьянских подворий, фермерских хозяйств и особенно для удалённых от линий электропередач точек (например, отгонных пастбищ) нужны ВЭУ малой мощности с многолопастным ВК с автономным регулированием частоты вращения, обеспечивающим агрегатный способ сборки-разборки и тем самым обеспечивающих их хорошую транспортабельность. Серийное производство предлагаемых ВЭУ позволит значительно повысить социальный уровень жизни жителей, прежде всего, в сельской местности.

Результаты и обсуждение

Предлагается опытный образец ветроэнергетической установки малой мощности с автоматическим регулированием частоты вращения и буревой защитой, максимально использующей мощность ветрового потока за счёт научно обоснованных конструктивных параметров ветрового колеса и, вместе с тем, простой по конструкции, надёжной в работе и приемлемой по себестоимости.

Ветроэнергетическая установка (патент на изобретение «Ветроэнергетическая установка» № 31844 [9]) состоит из следующих основных узлов (рисунок 4): силовой головки с механизмом регулирования частоты вращения ВК и буревой защиты, восьмилопастного ветрового колеса с поворотными лопастями из листовой стали с переменной вогнутостью, опорно-поворотного механизма с токосъемным устройством, флюгера и башни.

ВЭУ оснащена генератором на постоянных магнитах с номинальной частотой вращения 600 об/мин. Заданная частота вращения генератора обеспечивается мультипликатором с передаточным отношением $i = 6$ и экранно-рычажным механизмом регулирования частоты вращения (патент РК «Ветроэнергетическая установка с буревой защитой» №26174 [11]). Диаметр ВК для опытного образца мощностью 300 Вт принят равным 1,4 метра, для опытного образца мощностью 2 кВт – 2,5 метра. Для максимального использования энергии ветра используется обтекатель воздуха. Способ сборки-разборки агрегатно-узловой, что обеспечивает достаточно высокую мобильность и транспортабельность ВЭУ [12].

Повышение эффективности ВЭУ достигается путем использования оптимальных конструктивных параметров (число лопастей, угол заклинивания, форма лопасти, относительная площадь лопасти), полученных в процессе экспериментальных исследований на действующих моделях с помощью аэродинамической трубы обеспечивающей постоянство скорости воздушного потока.

Оптимальные конструктивные параметры приняты на основе минимизации потерь по числу лопастей, по углу установки лопастей и по относительной площади.

Применён экранно-рычажный механизм автономного регулирования частоты вращения ветрового колеса и буревой защиты (патент РК «Ветроэнергетическая установка с буревой защитой» №26174) [11].

В ветровом колесе используется обтекатель, обеспечивающий повышение мощности на 8–12 % [10]. Повышение мощности связано с тем, что ранее не работавший поток воздуха в центре ВК, теперь направляется на лопасти с учётом действия скорости воздушного потока в третьей степени (см. формулу (1), развиваемой ВК).

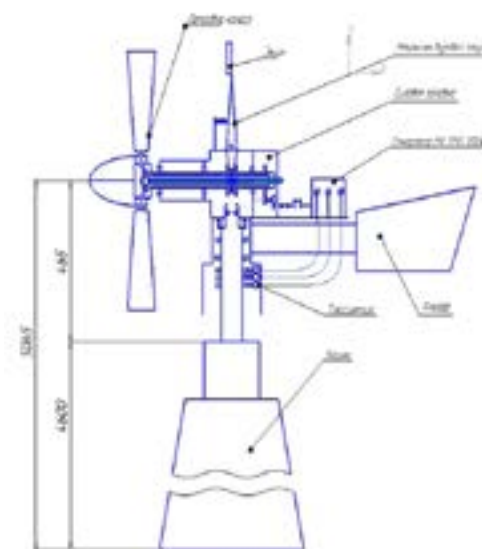


Рисунок 12 – Схема ветроэнергетической установки малой мощности

Экранно-рычажный механизм состоит из трёх составляющих элементов (подузлов). Рычажно-поворотного механизма с тяговой тарелкой, размещённых в ветровом колесе, тяги с тяговой втулкой, размещённых в корпусе силовой головки и отдельного узла крышки силовой головки с размещённым на ней рычажно-экраным механизмом.

При скорости ветра от минимума до рабочей (7 – 8 м/с) рычаг экрана не реагирует на изменение скорости ветра. Угол установки лопастей при этом соответствует номинальному и равному принятому 15 градусов. Ветровое колесо при этом изменяет частоту вращения от минимума до номинальной, соответствующей номинальной мощности генератора (300 Вт).

При скорости ветра 8 и более м/с экран начинает отклоняться и через рычаг с отношением плеч равным семи перемещает тяговую втулку вместе с осью и закрепленной на ней тяговую тарелку. Последняя через рычаги, закреплённые на осях лопастей, начинает поворачивать лопасти на увеличение угла установки. Частота вращения ВК при этом падает до номинальной.

При уменьшении скорости ветра до 7–8 м/с частота вращения ВК остаётся на уровне номинальной. Так обеспечивается регулирование частоты вращения ВК. При увеличении скорости ветра до 15 – 20 м/с лопасти устанавливаются во флюгерное положение и ВК практически останавливается, поломка лопастей предотвращается. Для повышения устойчивости лопастей и гарантированного исключения их поломки, все лопасти шарнирно соединены с общим кольцом (рисунок 13).



Рисунок 13 – Общий вид ветроэнергетической установки с положением лопастей при скорости ветра соответствующей рабочей и при скорости значительно превышающей рабочую

Напряжение с генератора снимается с помощью токосъёмника состоящего из неподвижных токосъёмных колец, установленных на стойке опорно-поворотного механизма, и собственно токосъёмника, соединённого с контактами генератора и установленного на поворотной части опорно-поворотного механизма.

Опорно-поворотный механизм, как самостоятельный узел, состоит из неподвижной стойки, закреплённой на верхней части башни, и поворотного цилиндра с подшипниками скольжения и с пояском для центрирования

силовой головки. Осевое усилие, создаваемое силой тяжести силовой головки и ветрового колеса, воспринимается упорным шариковым подшипником. Верхняя часть башни с платформой для обслуживания силовой головки и ветрового колеса, также является самостоятельным элементом (узлом) ВЭУ.

Ветровое колесо является основным узлом, преобразующим энергию ветра в механическую энергию его вращения. Момент, развиваемый ветровым колесом, используется для вращения ротора генератора. Диаметр ветрового колеса рассчитан и принят исходя из заданной мощности (300 Вт) согласно известной закономерности [4]

$$P = \rho \times V^3 \times \frac{\pi D^2}{4} \times \xi \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха;

V – скорость воздушного потока;

D – диаметр ветрового колеса;

P – мощность, развиваемая ветровым колесом.

Решая уравнение относительно диаметра D и приняв рабочую скорость ветра $V = 8$ м/с и коэффициент использования энергии ветра равным 0,45, получим расчётное значение диаметра ВК равным 1,6 м. С учётом принятого диаметра обтекателя, равным 0,34 м, повышающего эффективность использования энергии ветра, окончательно принимаем диаметр ВК, равным 1,4 м.

На основании ранее проведённых экспериментальных исследований [8, 10] показано, что оптимальным числом лопастей для ВЭУ малой мощности является ВК с числом равным 8–10. Принимаем число лопастей $i = 8$. Наиболее технологичной и приемлемой по себестоимости является лопасть из листовой стали. Причём наибольшую эффективность обеспечивает лопасть с переменной, уменьшающейся к периферии, вогнутостью.

Силовая головка выполнена в виде корпусной детали с размещённой в ней валом на подшипниках качения и двухступенчатым редуктором с передаточным отношением $i = 6$, увеличивающим частоту вращения ротора генератора в 6 раз.

При частоте вращения ВК равной 100 об/мин будет обеспечена номинальная частота вращения ротора генератора, равная 600 об/мин.

Ориентация навстречу ветровому потоку обеспечивается флюгером.

Запуск в работу ВЭУ обеспечивается в следующей последовательности: вывод фиксатора ВК с помощью тросика управления, установка лопастей в рабочее положение равное 15 градусов с помощью второго тросика управления, после набора ветровым колесом рабочей частоты вращения

– подключение нагрузки. Вывод ВЭУ из рабочего положения и останов выполняются в следующей последовательности: установка лопастей во флюгерное положение, после остановки ВК его фиксация с помощью тех же тросиков управления.

Выводы

Использование ВЭУ будет экономически выгодно в частных крестьянских хозяйствах, отгонных пастбищах, в частных домах, дачных участках и др., а также с целью экономии электрической энергии. В точках же, удалённых от линий электропередач (отгонные пастбища, фермерские хозяйства и др.) нет альтернативы ветроэнергетическим установкам средней и малой мощности.

Повышение эффективности ВЭУ достигается путем использования оптимальных конструктивных параметров (число лопастей, угол заклинения, форма лопасти, относительная площадь лопасти), полученных в процессе экспериментальных исследований на действующих моделях с помощью аэродинамической трубы обеспечивающей постоянство скорости воздушного потока.

Применён экранно-рычажный механизм автономного регулирования частоты вращения ВК и буревой защиты (патент РК).

В ветровом колесе предлагается использовать обтекатель, обеспечивающий, как показали предварительные экспериментальные исследования, повышение мощности на 8-12 %.

Таким образом, предлагаемая конструкция ВЭУ достаточно проста, оснащена устройством автоматического регулирования частоты вращения и буревой защиты, проста в управлении и, в случае получения положительных результатов испытаний в естественных условиях, может быть рекомендована для серийного производства более мощного аналога.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Национальная программа развития ветроэнергетики до 2015 года с перспективой до 2024 года. – Алматы-Астана : Правительство РК, 2007. – 20 с.

2 СТ РК ГОСТ Р 51990-2008 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация (IDT). Комитет по техническому регулированию и метрологии Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан от 26 ноября 2008 года № 602-од. – 35 с.

3 **Дорошин, Г. А.** Перспективы использования ветроэнергетики в Казахстане. – Алматы, 2006. – С. 15.

4 **Шефтер, Я. И.** Использование энергии ветра. – М. : «Энергия», 1983. – 201 с.

5 **Сейтбеков, Л. С., Нестеров, Е. Б., Абдикаиров, А.** и др. Ветроподъемник ВВ-5Т / Каталог научно-технических разработок АО «Казагроинновация» // Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Алматы.

6 **Нурписова, Г. Б.** Обоснование систем автономного электро- и водоснабжения агроформирований на базе ветроустановок / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (КазНИИМЭСХ). – Алматы, 2010. – 32 с.

7 **Капуста, Я. Я., Шумейко, И. А.** Методика экспериментальных исследований по выявлению оптимальных конструктивных параметров ветроэнергетической установки // Материалы Международной научной конференции молодых учёных, магистрантов, студентов и школьников «XVII Сатпаевские чтения». Том 19. – Павлодар, 2017. – С. 35–40.

8 **Ордабаев, М. Е., Шумейко, И. А., Коваль, Ю. А.** Исследование момента, частоты вращения ветрового колеса и мощности на его валу в зависимости от числа, формы лопастей и угла установки // Сборник статей «Инновационное развитие науки в современном Казахстане». – Алматы, 2011. – Ч. 3.

9 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М., Христоводоров, А. А.** Выбор оптимального варианта формы и относительной площади лопасти ветрового колеса ветроподъемной установки на основе моделирования // Наука и техника Казахстана. – 2013. – № 1-2. – С. 61-71.

10 **Капуста, Я. Я., Шумейко, И. А.** Технический проект маломощной ветровой электрической станции с буревой защитой // Материалы Международной научной конференции молодых учёных, магистрантов, студентов и школьников «XV Сатпаевские чтения». Том 14. – Павлодар, 2015. – С. 102–107.

11 **Шумейко, И. А., Нуркимбаев, С. М.** Патент РК №31844 на изобретение «Ветроэнергетическая установка». 15.02.2017, бюлл. № 3.

12 **Шумейко, И. А., Коваль, Ю. А.** Инновационный патент № 26174 на изобретение «Ветроподъемник с буревой защитой». 14. 09. 2012, бюлл. № 9.

REFERENCES

1 Natsional'naya programma razvitiya vetroenergetiki do 2015 goda s perspektivoy do 2024 goda [National Program for the development of wind energy

until 2015 with a perspective until 2024]. – Almaty-Astana: Government of the Republic of Kazakhstan, 2007. – 20 p.

2 ST RK GOST R 51990-2008 Netraditsionnaya energetika. Vetroenergetika. Ustanovki vetroenergeticheskoye. Klassifikatsiya (IDT) [ST RK GOST R 51990-2008 Unconventional energy. Wind energy. Wind power installations. Classification (IDT)]. Committee on Technical Regulation and Metrology of the Ministry of Industry and Trade of the Republic of Kazakhstan dated November 26, 2008 No. 602-od. – 35 p.

3 **Doroshin, G. A.** Perspektivy ispol'zovaniya vetroenergetiki v Kazakhstane [Prospects for the use of wind power in Kazakhstan]. – Almaty, 2006. – p. 15.

4 **Shefter, Ya. I.** Ispol'zovaniye energii vetra [The use of wind energy]. – M.: «Energy», 1983. – 201 p.

5 **Seitbekov, L. S., Nesterov, E. B., Abdikairov, A.** et al. Vetrovodopod"yemnik VV-5T [Wind power lifter BB-5T] / Catalog of scientific and technical developments of JSC «Kazagroinnovation» // Kazakh Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. – Almaty.

6 **Nurpeisova, G. B.** Obosnovaniye sistem avtonomnogo elektro- i vodosnabzheniya agroformirovaniya na baze vetroustanovok [Substantiation of systems of autonomous electric and water supply of agricultural formations based on wind turbines]. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Kazakh Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture (KazNIIMESH). – Almaty, 2010. – 32 p.

7 **Kapusta, Ya. Ya., Shumeyko, I. A.** Metodika eksperimental'nykh issledovaniy po vyyavleniyu optimal'nykh konstruktivnykh parametrov vetroenergeticheskoy ustanovki [Methods of experimental research to identify optimal design parameters of a wind power plant]. Materials of the International Scientific Conference of young scientists, undergraduates, students and schoolchildren «XVII Satpayev readings». Volume 19. – Pavlodar, 2017. – P. 35-40.

8 **Ordabaev, M. E., Shumeyko, I. A., Koval, Yu. A.** Issledovaniye momenta, chastoty vrashcheniya vetrovogo koleasa i moshchnosti na yego valu v zavisimosti ot chisla, formy lopastey i ugla ustanovki [Investigation of the torque, rotation frequency of the wind wheel and power on its shaft depending on the number, shape of the blades and the angle of installation] // Collection of articles «Innovative development of science in modern Kazakhstan». – Almaty, 2011. – Part 3.

9 **Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M., Hristodorov, A. A.** Vybora optimal'nogo varianta formy i odnositel'noy ploshchadi lopasti vetrovogo koleasa vetrovodopodyemnoy ustanovki na osnove modelirovaniya [Choosing the optimal variant of the shape and relative area of the blade of the wind wheel of a wind-lifting installation based on modeling] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2013. – No. 1–2. – P. 61–71.

10 **Kapusta, Ya. Ya., Shumeyko, I. A.** Tekhnicheskii proyekt malomoshchnoy vetrovoy elektricheskoy stantsii s burevoy zashchitoy [Technical project of a low-power wind power plant with storm protection] // Materials of the International Scientific Conference of young scientists, undergraduates, students and schoolchildren «XV Satpayev readings». Volume 14. – Pavlodar, 2015. – P. 102–107.

11 **Shumeyko, I. A., Nurkimbayev, S. M.** Vetroenergeticheskaya ustanovka [Wind power plant]. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 31844 for the invention. 02/15/2017, byul. No. 3.

12 **Shumeyko, I. A., Koval, Yu. A.** Vetrodvigatel' s burevoy zashchitoy [Wind turbine with storm protection] Innovative patent No. 26174 for the invention. 14.09.2012, byull. No. 9.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*И. А. Шумейко¹, А. Ж. Касенов², С. М. Нуркимбаев³

^{1,2,3}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

АЗ ҚУАТТЫЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ ТИІМДІ ЖЕЛ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫ ДАУЫЛДАН ҚОРҒАНЫСЫМЕН

Қазақстан өзінің географиялық орналасуына және климаттық жағдайларына байланысты күн энергиясы мен жел энергиясы түрінде айтарлықтай ресурстарға ие. Елдің үлкен аумағында желдің орташа жылдық жылдамдығы 4-5 м/с, ал бірқатар өңірлерде 6 м/с-тан асады, бұл жел энергетикасының дамуына жақсы жағдай жасайды.

Павлодар облысында энергетиканы дамыту жаңартылмайтын энергия көздері негізінде жүргізілуде, бұл отынның табиғи қорларының сарқылудына және экологиялық жағдайдың нашарлауына алып келеді. Жаңартылатын энергия көздерін, атап айтқанда жел агрегаттарын құру және пайдалану ҚР-ның орнықты әлеуметтік-экономикалық дамуы үшін қолайлы жағдайлар жасайды. Бұл әсіресе электр беру желілерінен алыс шаруа қожалықтарына, шалғайдағы жайылымдарға, фермерлік шаруашылықтарға қатысты. Ауылдық жерлерде де, сондай-ақ қалалық жағдайда жеке аулаларда да электр энергиясын үнемдеу мақсатында жел энергетикалық қондырғыларды (ЖЭҚ) пайдалану орынды.

Атап айтқанда, Павлодар облысында қолданылатын қуаты аз үш қалақты ЖЭҚ-те жел доңғалағының (ЖД) айналу жиілігін автоматты реттеу жоқ және желдің жоғары жылдамдығы

кезінде электр аппаратурасы істен шығатын дәрежеге дейін немесе қалақтар бұзылғанға дейін бұрыла алады. Павлодар облысының жел көтергіш қондырғылардың, негізінен қолөнер өндірісінің мониторингі олардың төмен тиімділігін, желдің екпініне тұрақсыздығын, қандай да бір бұрқақты қорғаныстың жоқтығын көрсетті.

Тиімділігі ЖД-та ауа ағыны жылдамдығының тұрақтылығын қамтамасыз ететін аэродинамикалық құбырдың көмегімен қолданыстағы ЖЭҚ модельдерінде эксперименттік зерттеулер процесінде алынған оңтайлы конструктивтік параметрлерді (қалақтардың саны, олардың пішіні, орнату бұрышы, қалақтың салыстырмалы ауданы) пайдалану арқылы қол жеткізілетін қуаты аз ЖЭҚ конструкциясы ұсынылады.

Кілтті сөздер: жел энергетикасы қондырғысы (ЖЭҚ), жел дөңгелегі (ЖД), момент, жылдамдық, қуат, эксперимент, дизайн, модель, ауа ағынының жылдамдығы, механизм.

*I. A. Shumeiko¹, A. Zh. Kassenov², S. M. Nurkimbayev³

^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.09.22.

HIGHLY EFFICIENT LOW-POWER WIND POWER PLANT WITH STORM PROTECTION

Kazakhstan, due to its geographical location and climatic conditions, has significant resources in the form of solar energy and wind energy. In most of the country, the average annual wind speeds are 4–5 m/s, and in some regions exceed 6 m/s, which creates good conditions for the development of wind energy.

The development of energy in the Pavlodar region is based on non-renewable energy sources, which leads to the depletion of natural fuel reserves and deterioration of the environmental situation. The creation and use of renewable energy sources, in particular wind turbines, creates favorable conditions for sustainable socio-economic development of the Republic of Kazakhstan. This is especially true for farms remote from power lines, driving pastures, farms. It is advisable to use wind power plants and in order to save electric energy both in rural areas and in private farmsteads in urban conditions

Used, in particular in the Pavlodar region, three-bladed low-power wind turbines do not have automatic control of the speed of rotation of the

wind wheel (WW) and can be unwound at high wind speed to such an extent that electrical equipment fails, or even to the destruction of the blades. Monitoring of wind turbines of Pavlodar region, mainly of handicraft production, showed their low efficiency, instability to wind gusts, the absence of any storm protection.

The design of a low-power wind turbine is proposed, the efficiency of which will be improved by using optimal design parameters in the WW (the number of blades, their shape, installation angle, relative blade area) obtained in the course of experimental studies on existing models of wind turbines using a wind tunnel that ensures the constancy of the air flow velocity.

Keywords: wind power installation, wind wheel (WW), torque, speed, power, experiment, design, model, air flow velocity, mechanism

<https://doi.org/10.48081/LVWO2100>

***А. О. Юсупова¹, А. О. Потапенко²**

^{1,2}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В настоящее время на производстве для диагностики, должного определения, регистрации и защиты широко используются измерительные преобразователи, среди которых значительное место занимают емкостные измерительные преобразователи. Использование любых видов преобразователей предусматривает подключение к схеме питания. В статье рассматриваются существующие измерительные цепи преобразования и измерения для детального анализа и дальнейшего выбора наиболее подходящей схемы измерения емкости измерительных преобразователей. Емкость измерительных преобразователей можно, как известно, определять с помощью множества существующих измерительных цепей и различными способами, которые преобразуют емкость датчика или ее изменение в напряжение или ток. В данный момент для диагностики поврежденных широко используются измерительные преобразователи, среди которых значительное место занимают емкостные измерительные преобразователи. Преобразование перемещения воздушного зазора в измерительной схеме является наиболее простым и приемлемым преобразованием, где задача сводится лишь к дистанционному измерению величины хода измерительного органа, за счет анализа последнего можно и производить измерения. Включение емкостного датчика в различные измерительные схемы, питаемые от источника повышенной частоты, позволяет зафиксировать изменения емкости, на что и направлен данный анализ.

Ключевые слова: Емкостные измерительные преобразователи, воздушный зазор, эксцентриситет ротора, схема измерения, мостовые схемы, анализ схем измерения.

Введение

В современном производстве для диагностики повреждений широко используются измерительные преобразователи, среди которых значительное место занимают емкостные измерительные преобразователи.

Анализ современных способов диагностики показал [1], в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений принято считать то, в котором для измерения смещения ротора используются емкостные измерительные преобразователи (ЕИП), принцип действия которых основан на изменении расстояния между электродами [2, 5]. Преобразование перемещения является наиболее простым и приемлемым преобразованием, где задача сводится лишь к дистанционному измерению величины хода измерительного органа. Именно это свойство целесообразно использовать в системах диагностики эксцентриситета ротора с ЕИП [3].

Материалы и методы

Емкость измерительных преобразователей можно измерять с помощью множества существующих измерительных цепей, которые преобразуют емкость датчика или ее изменение в напряжение или ток [4].

Как известно, можно выделить следующие основные методы измерения:

- измерение времени заряда или разряда конденсатора;
- электрометрические методы, основанные на делении заряда;
- метод амперметра и вольтметра;
- сравнение напряжений и токов;
- резонансные методы, включающие в себя контурные и генераторные способы резонансных измерений;
- мостовые методы.

Первые два метода не обеспечивают мгновенного и непрерывного преобразования и поэтому не нашли большого распространения.

Метод амперметра и вольтметра для измерения емкости конденсаторов является одним из наиболее ранних, но в настоящее время используется редко.

Сравнение токов или напряжений в измерительной цепи нашло широкое применение в основном для процентных раскалибраторов конденсаторов на допусковые группы по емкости.

Резонансные методы [4] обладают максимальной чувствительностью измерения изменения емкости датчика, но из-за сложности аппаратуры и трудности проведения дистанционных измерений находят довольно ограниченное применение.

Различные модификации мостов переменного тока (четырёхплечие мосты, трансформаторные мосты с тесной индуктивной связью между плечевыми обмотками, многоплечие мосты, полууравновешенные, неуравновешенные и квазиуравновешенные мосты, различные автоматические

мосты, мостовые Т-схемы и самоуравновешиваемые мосты) позволяют наиболее точно измерять емкость датчика или ее изменение даже при значительном удалении датчика от измерительной аппаратуры. Все перечисленные выше разновидности мостовых цепей дают возможность проводить измерения для двухэлектродных датчиков. С трехэлектродными датчиками необходимо применять специальные измерительные цепи. Обычные четырех-плечие мосты переменного тока не годятся для измерения прямой емкости трехэлектродного конденсатора, так как не имеют дополнительных уравнивающих реактивных элементов для исключения влияния частичных емкостей. Только четырехплечие мосты со специальной экранировкой и вспомогательной ветвью [4] позволяют непосредственно измерять прямую емкость. Они находят довольно ограниченное применение, так как процесс измерения отличается исключительно большой трудоемкостью. Этим недостатком лишены трансформаторные мосты с тесной индуктивной связью между плечевыми обмотками.

В этих мостах необходимость в дополнительных реактивных элементах при измерении прямых емкостей отпадает. Известно [4, 5], что мосты с индуктивно связанными плечевыми элементами обладают очень малой чувствительностью к паразитным проводимостям, включенным параллельно индуктивным плечам. С помощью моста с тесной индуктивной связью можно измерять емкость трехэлектродного конденсатора в диапазоне от 0,01 до 10000 пФ с погрешностью до 0,001 % [5] и даже меньшей. На основе моста с тесной индуктивной связью построены и автоматические мосты класса 0,1 [6, 7], однако быстродействие таких мостов невелико (в лучшем случае при слежении время измерения составляет несколько десятых долей секунды).

Существующие измерительные цепи, особенно самоуравновешиваемые, позволяют с высокой точностью и быстродействием проводить измерения при помощи емкостных датчиков различных неэлектрических величин, характеризующих физические и химические процессы.

Результаты и обсуждение

Включение емкостного датчика в мостовую схему, питаемую от источника повышенной частоты, позволяет зафиксировать изменения емкости на 0,1%. Более высокую чувствительность позволяет получить так называемая резонансная схема. В этом случае емкостный датчик включается в колебательный контур совместно с индуктивным сопротивлением. Резонансная схема показана на рисунке 1, а.

Высокочастотный генератор 1 имеет частоту напряжения f_1 и питает индуктивно связанный с ним контур, состоящий из индуктивности L_n , подстроечного конденсатора C_0 и емкостного датчика C_A . Напряжение

U_k , снимаемое с контура, усиливается усилителем 2 и измеряется прибором 3, шкала которого может быть проградуирована в единицах измеряемой величины. При помощи подстроечного конденсатора C_0 контур настраивается на частоту f_0 , близкую (но не равную) к частоте генератора.

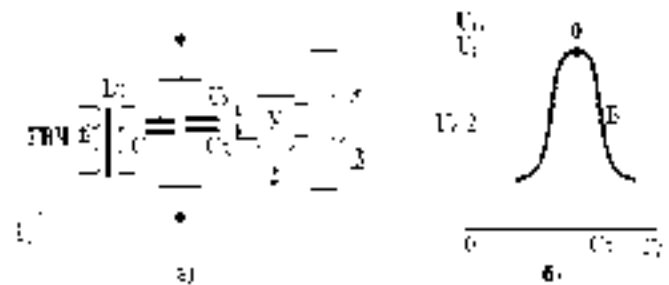


Рисунок 1 – Резонансная схема включения емкостного датчика

Настройка производится при средней емкости датчика в диапазоне возможных изменений измеряемой величины

$$C_{A0} = \frac{(C_{max} + C_{min})}{2} \tag{1}$$

В результате настройки напряжение U_p , снимаемое с контура, должно быть примерно вдвое меньше (точка Б на рисунке 1, б), чем напряжение при резонансе U_p (точка о на рисунке 1, б). Таким образом, рабочая точка Б будет находиться примерно посередине одного из склонов резонансной характеристики. Этим обеспечиваются высокая чувствительность измерения (до 0,001%) и примерно линейная шкала измерительного прибора 3. Малейшее перемещение подвижной пластины датчика C_A приводит к резкому изменению напряжения контура. Уменьшение емкости ($C_{A0} - \Delta \tilde{N}$) приводит к резкому увеличению напряжения, увеличение емкости ($C_{A0} + \Delta \tilde{N}$) – к резкому уменьшению напряжения. При выборе рабочей точки на левом склоне резонансной характеристики (с помощью подстроенного конденсатора) уменьшение емкости приводит к уменьшению напряжения, и наоборот.

Резонансная частота контура определяется из условия резонанса (равенства емкостного и индуктивного сопротивлений):

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC},$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k(C_0 + C_d)}} \quad (2)$$

Конструкция одного из ЕИП, используемого для защиты ЭМ переменного тока от эксцентриситета ротора приведена на рисунке 2, где 1 – емкостной измерительный преобразователь и 2 – реагирующий орган; 3 – пазовый клин и металлическая фольга на нем. В данном случае смещение ротора определяется по емкости между сердечником ротора 2 и металлической фольгой на пазовом клине 3. Датчики в таких случаях не подвергаются дополнительной электрической нагрузке и не подключаются к высокому напряжению. Реагирующий орган выполнен из порогового элемента 9 и измерительного прибора 10.

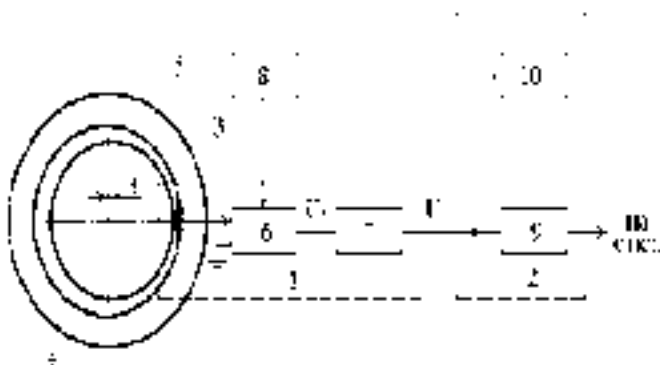


Рисунок 2 – Устройство для диагностики эксцентриситета ротора ЭМ с приведенной схемой питания

Емкостной датчик из фольги 3 и поверхности сердечника ротора 5 включается в одно из плеч измерительного моста 6 как показано на рисунке 2. Величина емкости такого емкостного датчика определена от расстояния от металлической фольги 3 до поверхности сердечника ротора. Схема измерительного моста 6 приведена на рисунке 3.

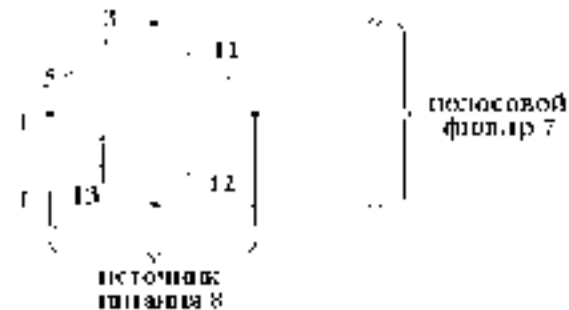


Рисунок 3 – Измерительный мост для схемы питания

В соответствии с рисунком 3 к одной диагонали измерительного моста 6 присоединен источник 8 питания переменного тока, а ко второй полосовой фильтр 7 с частотой пропускания равной частоте источника питания. В другие плечи измерительного моста 6 включены активные сопротивления 11 и 12, а также подстроечный конденсатор 13, который является емкостью, с помощью которой осуществляется балансировка измерительного моста 6 после монтажа устройства диагностики в электрическую машину с точно установленным ротором. Использование полосового фильтра 7 позволяет избавиться от влияния на работу устройства диагностики эксцентриситета ротора различного рода наводок. Конструктивно он может выполняться как в аналоговом, так и в цифровом исполнении. Если измерительный мост 6 сбалансирован, то напряжение U_6 на его выходе, а также U_7 на выходе полосового фильтра 7 будут равны нулю.

Полное значение емкости в мостовой схеме, получаемое от емкостного измерительного преобразователя, является не постоянным, а пульсирующим, если ротор является зубчатым. Оно состоит из постоянной и амплитуды переменной составляющих из выражения (3) [8,9].

При разложении таких кривых в ряд Фурье [9]

$$C(x) = C_0 + C_n = C_0 + \sum C_n \cdot \sin(m \cdot t) = C_0 + \sum C_n \cdot \sin(2\pi f_{z,1} \cdot t) \quad (3)$$

Выводы

1 Емкостные датчики из-за высокой чувствительности, простоты устройства, малых габаритов, веса и малой инерционности, что особенно важно для исследования быстропеременных процессов, должны найти еще более широкое применение, чем в настоящее время;

2 Для увеличения точности измерений и устранения влияния шунтирующих емкостей и утечек необходимо широкое внедрение емкостных измерительных преобразователей, величина которых может составлять несколько десятых и даже сотых пикофарады;

3 Существующие различные измерительные цепи, особенно самоуравновешиваемые, позволяют с высокой точностью и быстродействием проводить измерения при помощи емкостных датчиков различных неэлектрических величин, произведенный анализ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины. – М. : Энергия, 1980. – 909 с.

2 **Новожилов, А. Н., Юсупова, А. О., Потепенко, А. О.** Метод моделирование электрической емкости измерительного преобразователя. Журнал «Вестник Машиностроения», г. Москва, 2021, – № 9

Novozhilov, A., Potapenko A., Novozhilov, T. Simulation of voltage on the stator winding terminals of induction motor with impaired short-circuit winding of rotor, «Applied Mechanics and Materials» Vol. 792 – 2015 г. – 5 с.

4 **Novozhilov, A., Potapenko A., Novozhilov, T.** Process Simulation in Induction Motor where Short-Circuit Rotor Bar is Failed during Run-down Regime Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 94 NR 6/2018

5 **Новожилов, А. Н., Юсупова, А. О., Новожилов, Т. А.** Выбор метода выявления эксцентриситета ротора электрической машины / Вестник ПГУ. № 4. Серия Энергетическая – г. Павлодар, 2016, с. 117 – 126.

6 **Новожилов, А. Н., Юсупова, А. О., Новожилов, Т. А.** Выбор типа емкостного измерительного преобразователя для диагностики эксцентриситета ротора электрической машины / Материалы международной конференции «17 Сатпаевские чтения» Том 19 – С. 133–138.

7 **Novozhilov, A., Yussupova A., Assainov, G., Novozhilov, T., Manukovsky, A.** Sources of independent power supply for protection relay/ Przegląd Elektrotechniczny – № 5, 2018 – P. 23–26.

8 **Novozhilov, A., Yussupova A., Novozhilov, T, A.** A Device for Determining the Rotor Eccentricity of Rotating Electric Machines. Russian Electrical Engineering, № 2 – P. 32–35

9 **Novozhilov, A., Yussupova A., Novozhilov, T, A.** Determining the Displacement of the Rotor Shaft in an Electrical Machine. Russian Engineering Research, 2019, – No. 10, – P. 827–830. Allerton Press, Inc., 2019.

10. **H. L.HuT, M. XuS, E. Hui.** A high-accuracy, high-speed interface circuit for differential-capacitance transducer. / [Sensors and Actuators A : Physical. Volume 125, Issue 2](#), 10 January 2006, Pages 329-334.

REFERENCES

1 **Ivanov-Smolensky, A. V.** Electrichekieskie mashini. [Electric machines.] [Text]/ Ivanov-Smolensky A.V. – M. : Energiya, 1980 – 909 p.

2 **Novozhilov, A. N., Yusupova, A. O., Potapenko, A. O.** Metod modelirovaniya electrichekieskoi emkosti izmeritelnogo preobrazovatelya. [Method of modeling the electrical capacitance of a measuring converter] [Text]/ The journal «Bulletin of Mechanical Engineering», Novozhilov A. N., Yusupova A. O., Potapenko A.O. – No. 9, 2021, M.

3 **Novozhilov, A., Potapenko A., Novozhilov, T.** [Simulation of voltage on the stator winding terminals of induction motor with imposed short-circuit winding of rotor] [Text]/ «Applied Mechanics and Materials». Novozhilov, A., Potapenko A., Novozhilov. Vol. 792. – 2015. – 5 p.

4. **Novozhilov, A., Potapenko A., Novozhilov, T.** [Process Simulation in Induction Motor where Short-Circuit Rotor Bar is Failed during Run-down Regime] [Text]/ Przegląd elektrotechniczny. Novozhilov, A., Potapenko A., Novozhilov. ISSN 0033–2097, R. 94 NR 6/2018

5 **Novozhilov, A. N., Yusupova, A.O., Novozhilov, T. A.** Vibor metoda viyavleniya exentrisiteta rotora electrichekieskoi mashini. [The choice of a method for detecting the eccentricity of the rotor of an electric machine] [Text]/ Bulletin of PSU. No. 4. A. N. Novozhilov, A. O. Yusupova, T. A. Novozhilov. Energy Series – Pavlodar, 2016, P. 117–126.

6 **Novozhilov, A. N. Yusupova, A. O. Novozhilo, T. A.** Vibor tipa emkostnogo izmeritelnogo preobrazovatelya dlya diagnostiki exentrisiteta rotora electrichekieskoi mashini. [Selection of the type of capacitive measuring transducer for the diagnosis of the eccentricity of the rotor of an electric machine] [Text]/ Materials of the international conversion «A. N. Novozhilov, A. O. Yusupova, T. A. Novozhilov. 17 Satpayev readings». Vol. 19. P. 133–138.

7 **Novozhilov, A., Yussupova A., Assainov, G., Novozhilov, T., Manukovsky, A.** [Sources of independent power supply for protection relay] [Text]/ Przegląd Elektrotechniczny, Novozhilov, A., Yussupova A., Assainov, G., Novozhilov, T., Manukovsky, A. № 5, 2018 P. 23–26.

8 **Novozhilov, A., Yussupova A., Novozhilov, T, A.** [A Device for Determining the Rotor Eccentricity of Rotating Electric Machines]. [Text]/ Russian Electrical Engineering, Novozhilov, A., Yussupova A., Novozhilov, T, A. – № 2 P. 32–35.

9 Novozhilov, A., Yussupova A., Novozhilov, T. A. [Determining the Displacement of the Rotor Shaft in an Electrical Machine]. [Text]/ Russian Engineering Research, 2019, – No. 10, P. 827–830. Novozhilov, A., Yussupova A., Novozhilov, T. A. Allerton Press, Inc., 2019.

10 H. L. HuT, M. XuS, E. Hui. [A high-accuracy, high-speed interface circuit for differential-capacitance transducer]. [Text]/ [Sensors and Actuators A: Physical](#). H. L. HuT, M. XuS, E. Hui. [Volume 125, Issue 2](#), 10 January 2006, Pages 329-334.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

*Ә. О. Юсупова¹, А. О. Потепенко²

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ӨЛШЕУ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІН ӨЛШЕУДІҢ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ СХЕМАЛАРЫН ТАЛДАУ

Қазіргі уақытта өндірісте өлшеу түрлендіргіштері диагностика, дұрыс анықтау, тіркеу және қорғау үшін кеңінен қолданылады, олардың арасында сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштері маңызды орын алады. Түрлендіргіштердің кез-келген түрін пайдалану қуат схемасына қосылуды қамтиды. Мақалада егжей-тегжейлі талдау және өлшеу түрлендіргіштерінің сыйымдылығын өлшеудің ең қолайлы схемасын одан әрі таңдау үшін түрлендірудің және өлшеудің қолданыстағы өлшеу тізбектері қарастырылады. Өлшеу түрлендіргіштерінің сыйымдылығын көптеген өлшеу тізбектерінің көмегімен және сенсордың сыйымдылығын немесе оның өзгеруін кернеуге немесе токқа түрлендіретін әртүрлі тәсілдермен анықтауға болады. Қазіргі уақытта өлшеу түрлендіргіштері зақымдануды диагностикалау үшін кеңінен қолданылады, олардың арасында сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштері маңызды орын алады. Өлшеу схемасындағы ауа саңылауының қозғалысын түрлендіру қарапайым және қолайлы түрлендіру болып табылады, мұнда тапсырма тек өлшеу органының insult шамасын қашықтықтан өлшеуге дейін азаяды, соңғысын талдау арқылы өлшеулер жүргізуге болады. Сыйымдылық сенсорын жоғары жиілік көзінен қоректенетін әртүрлі өлшеу тізбектеріне қосу осы талдау бағытталған сыйымдылық өзгерістерін түзетуге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштері, ауа саңылауы, ротордың эксцентриктілігі, өлшеу схемасы, көпір тізбектері, өлшеу тізбектерін талдау.

*А. О. Yussupova¹, А. О. Potapenko²

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.09.22.

ANALYSIS OF EXISTING MEASUREMENT SCHEMES OF CAPACITIVE MEASURING TRANSDUCERS

Currently, measuring transducers are widely used in production for diagnostics, proper detection, registration and protection, among which capacitive measuring transducers occupy a significant place. The use of any type of converters provides for connection to the power supply circuit. The article discusses the existing measuring circuits of conversion and measurement for detailed analysis and further selection of the most suitable circuit for measuring the capacitance of measuring transducers. The capacitance of the measuring transducers can, as is known, be determined using a variety of existing measuring circuits and in various ways that convert the capacitance of the sensor or its change into voltage or current. At the moment, measuring transducers are widely used to diagnose damage, among which capacitive measuring transducers occupy a significant place. The transformation of the movement of the air gap in the measuring circuit is the simplest and most acceptable transformation, where the task is reduced only to the remote measurement of the stroke of the measuring device, due to the analysis of the latter, measurements can be made. The inclusion of a capacitive sensor in various measuring circuits powered by an increased frequency source allows you to record changes in capacitance, which is what this analysis is aimed at.

Keywords: Capacitive measuring transducers, air gap, rotor eccentricity, measurement circuit, bridge circuits, analysis of measurement circuits.

<https://doi.org/10.48081/WUAK8059>

***N. S. Kuznetsova¹, A. Atyaksheva², N. V. Ryvkina³,
An. Atyaksheva⁴,**

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Saken Seifullin Kazakh Agro Technical University,
Republic of Kazakhstan, Astana

³L. N. Gumilyov Eurasian National University,

⁴International green technologies and investment projects center,
Republic of Kazakhstan, Astana

MODEL ACHIEVEMENT FOR IGNITION AND DEVELOPMENT OF STOCHASTIC DISCHARGE CHANNELS IN CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE TAKING INTO ACCOUNT THE PROPERTIES OF THE MEDIUM AND THE GEOMETRY OF THE REINFORCING FRAME

The article develops a generalized model of electrodischarge action on concrete, which allows consistently describing phases of electro-explosion in condensed media: initiation and development of discharge channels, expansion, generation of shock waves, interaction of waves with the material being processed, deformation and destruction of solid materials. The model is based on a stochastic deterministic approach to the development of instability. processes associated with the distribution of the electric field, when mechanical stresses break. The flow of the process is considered deterministically on the basis of nonlinear integro-differential equations, local processes leading to the growth of the channel and cracks - stochastically. Equations describing the nature of the discharge development, the change of the channel resistance and its expansion are concordantly solved with the transition equations in the scheme of the real pulse generator. Expansion of the channel in the liquid is based on the law of conservation of energy, mass, pulse, equations of wave dynamics and allows to calculate the temporal and amplitude impact of shock waves from the channel on the barriers.

The process of electrical breakdown of condensed dielectrics occurs with the development of a stochastically discharge structure, mainly

determined by the emergence of highly conductive plasma channels. The development of the channel structure begins in the area of maximum field tension. In this case, the processes of phase transitions of a material directly determine the quantitative and qualitative processes of image of channels. As part of the study of the model, an analysis of the influence of the movement of electro-discharges on the redistribution of the electrostatic field, conditions leading to the direct formation of discharge channels, fracture formation and complete deformation was conducted.

Keywords: model, electro-discharge device, stochastic-deterministic approach, electric field, mechanical voltage, shock wave, channel resistance, dielectric, pulse generator, differential equations.

Introduction

The construction of discrete growth models under numerical methods is the most promising method of studying electrodischarge channels. However, due to non-stationary and unsustainable growth and nonlinearity of processes, there is a phase transition of dielectric plasma in which only certain aspects of growth can be studied by analytical methods. At the same time, numerical methods allow to study complex models of development of discharge at all stages of formation of discharge structure with consideration of conditions of breakdown. Taking into account interconnected and non-linear processes of electro-discharge transfer and in agreement with the physically reactive fields, a stochastic-deterministic approach is proposed for constructing a model of the development of the proposed channel [1 - 3]. The study of dynamic processes in an electric field at macroscopic level is proposed using stochastic methods illustrating the processes of growth instability and microperturbation intensity, directly determined by fluctuations and microbundle of the medium.

Materials and methods

It seems that locality of electric field intensity E_p determines the main directions of instability of processes in the model, they have a direct influence on deformation relations when the aggregate state changes during the process of chemical reactions of media and the mechanical state of concrete and reinforced concrete body. The stochastic law in the present case describes the direct integral effect of the development of discharge channels. At the same time, the dependence of the development of microscopic processes in the channel, taking into account the probability of their growth from E_p , can be determined both experimentally and by modeling these processes. For modelling, a step-by-step dependency is proposed, determined by the amount of energy released in the process of canal development. At the same time, the local nature of the density of energy released at a given stage can clearly reflect the threshold of instability, at which the formation

and development of the channel begins. This task allows analogy of experimental results and model results.

It is obvious that the quadratic projection of local stress E_s will always determine directly proportional growth of probability density of development of the discharge channel w_n , with the projection value dominating the critical value $E_s, E_k > E_s$. In the event that the probability density of the bit channel is w_d is zero, for $E_s < E_k$:

$$\omega_d = \alpha \cdot \theta(E_s - E_k) \cdot E_s^2 \quad (1)$$

where α - factor which takes into account the speed of development;
 $\theta(x)$ – function step by step ($\theta(x)=1$ at $x>0$ and $\theta(x)=0$ at $x \leq 0$).

Microheterogeneity of the material and instability of its structure and processes that determine the development of the channel can be based on stochastic choice. At the same time, it is proposed to calculate the limit intensity by using optics for the development of high-speed discharge channels [4].

The development of velocity fields in the dynamics of electric charges in the context of electric field redistribution is proposed to describe deterministically, taking into account the principle of superposition fields or Gauss theorem, as applied to electric fields in dielectrics:

$$\nabla(\varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}) = \rho \quad (2)$$

where ε and ε_0 – relative and absolute dielectric permeability;
 ρ – charge density.

To describe the movement of charges in the development of channels in dielectric materials apply the fundamental law of ohm and the law of charge retention. As a consequence, the change in specific conductivity σ and charge density ρ_V will be described by the continuity equation:

$$\frac{d\rho_V}{dt} = -\nabla(\sigma \cdot \vec{E}) \quad (3)$$

According to which the dynamic dependence of linear density of linear charge density ρ_L :

$$\frac{d\rho_L}{dt} = -\frac{d}{dl}(\gamma \cdot E_l) \quad (4)$$

where γ – linear conductivity of the channel;
 l – coordinate level.

According to the Kirchoff equation, the zero-sum condition of the sum of all directional movements will be fulfilled at the channel branching points.

Undoubtedly, the change in the conductivity of the discharge channels will occur as a result of changes in their mechanical, thermal and electrostatic geometries at the macro and micromolecular levels. The intensity of these processes will be determined by the rate at which energy is released in the channels and dispersed into the environment. The conductivity change in this case can be determined according to the Rompe-Vezel formula specified for the spark channel itself:

$$\frac{d\gamma}{d} = \chi \cdot \gamma \cdot E_l^2 - \xi \cdot \gamma \quad (4)$$

where χ и ξ – factors of drop and rise in conductivity;

The equation shows an immediate increase in conductivity with a power output in a destructive channel.

The physical properties of dielectrics and the development of the breakdown channel will directly determine the mutual response of charge carriers and atoms, taking into account structural defects and irregularities. In addition, any changes in polarization directly responsible for the formation of the S-shaped BAC and the development of unstable fields of velocities and stresses will also be determined by the type of material and the nature of the canal development.

The thermal instability of materials with a direct proportional dependence of conductivity on the field temperature (T), as well as the active feedback between these values in this case, will be a universal characteristic.

The electrical instability model is directly dependent on the temperature of the charge carrier in a highly conductive dielectric body [5, 6].

In the simulation of the deformation process in solid material, the II Law of Newton was used for elementary volume:

$$\rho \frac{d^2 u_i}{dt^2} = \sum_k \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} \quad (5)$$

where ρ – density;

u_i – displacements vector components;

σ_{ij} – voltage tensor components;

x_k – coordinates.

At the same time, Hooke law for homogeneous and isotropic materials clearly defines the relationship between stress tensor e_{ij} and strain tensor σ_{ij} in the elastic strain field [7]:

$$\sigma_{ij} = 2\mu e_{ij} + \lambda \left(\sum_k e_{kk} \right) \delta_{ij} \quad (6)$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (7)$$

where δ_{ij} – symbol Kronekera;

λ, μ – constants Lamé.

Conditions of formation of macro fractures in dynamics require taking into account the time of preliminary loading stage, which determines the cumulative accumulation of cracks. Such a model should include the fracture criterion as the Touler-Boucher damage integral [8 - 10]:

$$K = \int_{t_c}^t \theta(\sigma(t) - \sigma_c) \cdot [\sigma(t) - \sigma_c]^2 dt \quad (8)$$

where θ – function of step by step immersion;

$\sigma(t)$ – instantaneous value of voltage tensor component towards crack formation.

There is no doubt that the directional destruction of the material at a given point can occur only at the condition: $E_s < E_k$

To account for material irregularities affecting cracking, a probability function of fracture formation is introduced. In this case, the density of the probability of growth of this crack, if the load value of the critical value is exceeded, will be directly proportional to the integral of damage.

$$\omega_{cr} = \beta \theta(K - K_c) \cdot K \quad (9)$$

where β – fracture probability.

Results and discussions

Simulation is provided at the discharge interval in the pulse generator circuit due to the coordination of current and voltage in the circuit. The potential electrode

has a potential value equal to that of a given discharge region, whereas the assumed potential is zero S_0 .

In this case, the equality of the currents of offset and conduction during the discharge interval through the electrode is clearly visible:

$$\int_{S_p} \left(-\varepsilon \varepsilon_0 \frac{d}{dt} (\bar{\nabla} \phi) - \sigma \bar{\nabla} \phi \right) d\bar{s} + \sum \gamma E_l = I_D \quad (10)$$

$$\phi|_{S_p} = U_D, \quad \phi|_{S_0} = 0$$

The transfer of stored energy in the condenser into the internal energy of the ionization products and the mechanical work of shearing at the expansion of the flow occurs at the stage of channel breakdown. To reconcile the energy balance in the generator chain, it is proposed to assume direct proportionality between the specific conductivity of the channel and the specific internal energy of the channel:

$$\sigma = \eta \cdot \frac{W}{V} \quad \gamma = \eta \frac{P(t) \pi r_k^2(t)}{\gamma_* - 1} \quad (11)$$

No doubt, this proves, that the increased conductivity parameter will always affect the connection between the linear conductivity of the breakdown channel and the internal energy of the plasma flowing in the channel.

The equation determining the interaction between the internal energy of the plasma flowing inside the channel, the joule energy and the mechanical work of the expansion is determined by the energy balance equation for the channel section, in this case, the radius of the channel will be determined from the conditions of equal pressures inside and outside:

$$P = \frac{\frac{1}{3} \int_S \sum_{k=1}^3 \sigma_{kk} ds}{2\pi r_{ch} l} \quad (12)$$

where $\frac{1}{3} \int_S \sum_{k=1}^3 \sigma_{kk} ds$ – total force acting on the channel from the surrounding material.

Conclusion

Studies have shown the effectiveness of formation of discharge channels in the construction of discrete growth models. At the same time, numerical methods make it possible to study more complex models of development of the discharge and to consider all stages of formation of the discharge structure

under different conditions of breakdown, taking into account the simulation at the interval of discharge in the generator chain. The conducted studies showed the possibility of using and developing pulse generators for the ignition process and the development of stochastic discharge channels in concrete and reinforced concrete, taking into account the properties of the medium and the geometry of the reinforcing framework.

Research was conducted at the S.Seifullin's Kazakh Agrotechnical Technical University with funding from the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (grant AP09058149. Study of electrical-discharge destruction of reinforced concrete products and solid waste in the develop of a mobile complex for their processing and recycling).

REFERENCES

1 **Kuznetsova, N. S., Burkin, V. V., Lopatin, V. V.** Modeling of electric explosion in solid dielectrics in electric discharge technologies [Text] // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. – Tom 309. – № 2. – 2006. – P. 70–75.

2 **Protasov, Yu. I.** Destruction of rocks — M.: Publishing House of Moscow State University, 2001. – 453 p.

3 **Jae-Ou Chae, Young-Jun Jeong, Shmelev V. M., Denicaev A. A., Poutchkov V. M., Ravi V.** (2006). Plasma Discharge Initiation of Explosives in Rock Blasting Application: A Case Study. [Text] // Plasma Science & Technology. – 2006. Vol. 8, No. 4. DOI: 10.1088/1009-0630/8/4/16.

4 **Burkin, V. V.** Features of explosive impact during pulsed electrical breakdown of strong media. [Text] // Physics of gorenje and explosion. – No. 4. – 1985. –P. 113-118.

5 **Sarsikeev, E. Zh.** Modeling of an electric explosion in a system of overhead electrodes with the formation of a folding funnel. [Text] // Alley of Science. – 2019. № 8 (35). – Pp. 1–7.

6 **Sarsikeev, E. Zh., Kuznetsova, N. S., Mustafina R. M.,** Wave dynamics and destruction during electric explosion in solids in electric discharge technologies. [Text] // Bulletin of Pavlodar State University. The Energy series. – 2015. – No.3. pp. 63–72.

7 **Kuznetsova, N. S., Burkin, V. V., Lopatin, V. V.** Wave dynamics of electric explosion in solid dielectrics. [Text] // Journal of Technical Physics. – Vol. 79. – Issue 5. – 2009. – P. 42–48.

8 **Bluhm H., Frey W., Giese H., Hoppe P., Schultheis C., Sträbner R.** (2000). Application of Pulsed HV Discharges to Material Fragmentation and Recycling. [Text] // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2000. – Vol. 7. – No. 5. – P. 625–636.

9 **Kuznetsova, N. S., Mustafina, R. M., Sarsikeev, E. Zh.** Numerical implementation of a physical and mathematical model of electric explosion in condensed media. [Text] // Bulletin of Pavlodar State University. The Energy series. – 2016. – No. 3. P. 87–97.

10 **Kusainov, K., Nussupbekov, B. R., Shuyushbayeva, N. N., Tanasheva, N.K., Shaimerdenova, K. M., Khassenov, A. K.** On electric-pulse well drilling and breaking of solids. [Text] // Technical Physics, 2017. – No. 62 (6). P. 867-870

REFERENCES

1 **Kuznecova, N. S., Burkin V. V., Lopatin, V. V.** Modelirovanie elektrovzryva v tverdyh dielektrikah v elektrorazryadnyh tekhnologiyah. [Text] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – Vol 309. – № 2. – 2006. – P. 70–75.

2 **Protasov YU.I.** Razrushenie gornyh porod. – M.: Izd-vo MGGU, 2001. – 453 P.

3 **Jae-Ou Chae, Young-Jun Jeong, Shmelev, V. M., Denicaev, A. A., Poutchkov V. M., Ravi V.** (2006). Plasma Discharge Initiation of Explosives in Rock Blasting Application: A Case Study. [Text] // Plasma Science & Technology. – 2006. Vol. 8, No. 4. DOI: 10.1088/1009-0630/8/4/16.

4 **Burkin, V. V.** Osobennosti vzryvnogo vozdejstviya pri impul'snom elektricheskom proboe prochnyh sred. [Text] // Fizika goreniya i vzryva. – № 4. – 1985. – P. 113–118.

5 **Sarsikeev E. ZH.** Modelirovanie elektrovzryva v sisteme nakladnyh elektrodov s formirovaniem otkol'noj voronki. [Text] // Alleya nauki. – 2019. № 8 (35). – P. 1–7.

6 **Sarsikeev E. Zh., Kuznecova, N. S., Mustafina, R. M.,** Volnovaya dinamika i razrushenie pri elektrovzryve v tverdyh telah v elektrorazryadnyh tekhnologiyah. [Text] // Vestnik Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Energeticheskaya. – 2015. – №3.– P. 63–72.

7 **Kuznecova, N. S., Burkin, V. V., Lopatin, V. V.** Volnovaya dinamika elektrovzryva v tverdyh dielektrikah. [Text] // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. – T. 79. – Vyp. 5. – 2009. – P. 42–48.

8 **Bluhm H., Frey W., Giese H., Hoppe P., Schultheis C., Sträbner R.** (2000). Application of Pulsed HV Discharges to Material Fragmentation and Recycling. [Text] // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2000. – Vol. 7, No. 5. – P. 625–636.

9 **Kuznecova, N. S., Mustafina, R. M., Sarsikeev E. Zh.** Chislennaya realizaciya fiziko-matematicheskoy modeli elektrovzryva v kondensirovannyh

sredah. [Text] // Vestnik Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Energeticheskaya. – 2016. – №3. P. 87-97.

10 Kusaiynov, K., Nussupbekov, B. R., Shuyushbayeva, N. N., Tanasheva, N. K., Shaimerdenova, K. M., Khassenov, A. K. On electric-pulse well drilling and breaking of solids. [Text] // Technical Physics, 2017. – No. 62 (6). P. 867–870.

Material received on 15.09.22.

*Н. С. Кузнецова¹, А. В. Атякишева², Н. В. Рывкина³, А. Д. Атякишева⁴

¹Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Томск қ.;

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

³Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

⁴Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар

орталығы Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ АРМАТУРАЛЫҚ ҚАҢҚАНЫҢ ГЕОМЕТРИЯСЫН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, БЕТОН МЕН ТЕМІРБЕТОНДАҒЫ СТОХАСТИКАЛЫҚ РАЗРЯДТЫ АРНАЛАРДЫ ТҮТАТУ ЖӘНЕ ДАМУ ТУРАДАҒЫ МОДЕЛДІ ӨЗІРЛЕУ

Бетонға электр разрядының әсер етуінің жалпыланған моделі жасалды, ол конденсацияланған ортадағы электр жарылысының фазаларын дәйекті түрде сипаттауға мүмкіндік береді: разрядтық арналардың басталуы және дамуы, соққы толқындарының кеңеюі, пайда болуы, толқындардың өңделетін материалмен әрекеттесуі, қатты материалдардың деформациясы мен бұзылуы. Модель тұрақсыздықты дамытудың стохастикалық-детерминистік тәсіліне негізделген. механикалық кернеулердің бұзылуымен электр өрісінің таралуына байланысты процестер. Процестің барысы сызықты емес интегро-дифференциалдық теңдеулер негізінде детерминистік түрде қарастырылады, канал мен жарықтардың өсуіне әкелетін жергілікті процестер стохастикалық болып табылады. Разрядтың даму сипатын сипаттайтын теңдеулер, арнаның кедергісінің өзгеруі және оның кеңеюі нақты импульсті генератор тізбегіндегі отпелі теңдеулермен келісілген түрде шешіледі.

Сұйықтықтағы арнаның кеңеюі энергияның, массаның, импульстің сақталу заңына және толқын динамикасының теңдеулеріне негізделеді және соғу толқындарының арна шұғына уақытша және амплитудалық әсерін есептеуге мүмкіндік береді.

Конденсацияланған диэлектриктерді электрмен сынау процесі негізінен жоғары өткізгіш плазмалық арналардың пайда болуымен анықталатын стохастикалық разряд құрылымының дамуымен жүреді. Арналар құрылымының дамуы өрістің максималды күші аймағында пайда болады. Бұл жағдайда процестер материалдың фазалық ауысуы арналардың пайда болуының сандық және сапалық процестерін тікелей анықтайды. Модельді зерттеу аясында электр разрядтары қозғалысының электростатикалық өрісті қайта бөлуге әсері, разряд арналарының тікелей түзілуіне, жарықтың пайда болуына және толық деформацияға әкелетін жағдайлар және импульстік генератордың жұмысын үйлестіру шарттары талданды.

Кілтті сөздер: модель, электр разрядты құрылғы, стохастикалық-детерминистік тәсіл, электр өрісі, механикалық кернеу, соққы толқыны, канал кедергісі, диэлектрик, импульстік генератор, дифференциалдық теңдеулер.

*Н. С. Кузнецова¹, А. В. Атякишева², Н. В. Рывкина³, А. Д. Атякишева⁴

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, г. Томск,

²Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

³Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

⁴Наилучшие доступные технологии, Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов, Республика Казахстан, г. Астана

Материал поступил в редакцию 15.09.22

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЗАЖИГАНИЯ И РАЗВИТИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ РАЗРЯДНЫХ КАНАЛОВ В БЕТОНЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЕОМЕТРИИ АРМАТУРНОГО КАРКАСА

Аннотация. Разработана обобщенная модель воздействия электрического разряда на бетон, позволяющая последовательно характеризовать фазы электрического взрыва в конденсированной среде: начало и развитие разрядных каналов, расширение,

образование ударных волн, взаимодействие волн с обрабатываемым материалом, деформацию и разрушение твердых материалов. Модель основана на стохастико-детерминированном подходе к развитию неустойчивости. процессы, связанные с распределением электрического поля с нарушением механических напряжений. Ход процесса рассматривается детерминированно на основе нелинейных интегро-дифференциальных уравнений, локальные процессы, приводящие к росту канала и трещин, стохастичны. Уравнения, характеризующие характер развития разряда, изменение сопротивления канала и его расширение решаются согласованно с переходными уравнениями в цепи генератора реальных импульсов. Расширение канала в жидкости основано на законе сохранения энергии, массы, импульса, уравнениях волновой динамики и позволяет рассчитать временное и амплитудное влияние ударных волн на помехи от канала.

Процесс электроиспытания конденсированных диэлектриков происходит главным образом с развитием стохастической разрядной структуры, определяемой образованием высокопроницаемых плазменных каналов. Развитие структуры каналов происходит в области максимальной силы поля. При этом процессы непосредственно определяют количественные и качественные процессы образования каналов фазового перехода материала. В рамках исследования модели были проанализированы влияние движения электрических разрядов на перераспределение электростатического поля, условия, приводящие к прямому образованию разрядных каналов, образованию трещин и полной деформации, условия координации работы импульсного генератора.

Ключевые слова: модель, устройство электрического разряда, стохастико-детерминированный подход, электрическое поле, механическое напряжение, ударная волна, сопротивление канала, диэлектрик, генератор импульсов, дифференциальные уравнения

***D. A. Naubetov¹, M. Z. Yakubova², S. A. Mirzakulova³, T. G. Serikov⁴**

^{1,2}Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty;

³Turan University, Department of Radio Engineering, Republic of Kazakhstan, Almaty;

⁴Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan

NONPARAMETRIC CRITERIA FOR ASSESSING THE TREND OF NETWORK ACCESS TRAFFIC

The article uses nonparametric criteria to assess the trend of network access traffic. Practice shows that most real processes do not satisfy the properties of stationarity. They are characterized by a trend, systematic changes in variance, the presence of periodic fluctuations and the presence of changing interdependencies between the levels of the time series. A review of some foreign articles devoted to this topic has been carried out. Also, the Wireshark sniffer program is used, the task of which is to capture packets passing through the network. Empirical data were obtained on the access network segment between LAN and ISP. In the article, using nonparametric tests (the series criterion, the «ascending and descending» series criterion, the Cox-Stewart sign criterion and the «Caterpillar» method), the hypothesis of the presence of a trend in the measured time series on the access network was tested. The decomposition of the time series into its components is performed.

Keywords: access network, time series, trend, stationarity, nonparametric criteria.

Introduction

The functioning modern network architecture NGN/IMS (Next Generation Network/IP Multimedia Subsystem) promotes the development of access network technology based on optical infrastructure, in order to provide a wide range of multimedia services to users and numerous enterprises subscribed to VoIP service

through an ISP (Internet Service Provider) service provider with a variety of converged communication solutions such as IP-PBX Asterisk – an indispensable application for corporate office.

The rapid growth in the number of local networks and networks of Internet service providers, the rapid and continuous emergence of new network technologies aimed at improving the quality of service (QoS) of real-time applications indicates the relevance of the study of network traffic between LAN and ISP.

Review of some foreign articles on this topic:

In [1] «Fundamentals of the Theory of Complex Systems», the authors describe that most systems, due to their complexity, cannot be modeled with sufficient accuracy and that this can be done using another approach based on observing their behavior. An observable is a sequence of values of some variable recorded continuously or at certain intervals (time series). The presence of only a time series instead of a complete solution of the equations limits knowledge about the system under study, but at the same time, the identification problem in the analysis of the measured data provides answers to questions about the parameters of the system that gave rise to this time series – embedding dimension, correlation dimension, entropy, and others. It is also described that theoretical research based on time series analysis is a powerful tool for understanding many phenomena occurring in the system.

In the work [2] «Review of modern models and methods of time series analysis of the dynamics of processes in social, economic and sociotechnical systems» provides general information about time series and the tasks of their analysis, as well as modern methods of time series analysis. It is noted that the processes occurring in complex systems cannot be considered completely random, since they tend to self-organize and, moreover, are influenced by the memory of previous states. The dynamics of processes in social, economic and sociotechnical systems are described by non-stationary time series, and attempts to represent them in the form of quasi-stationary sections can lead to an incorrect description of the observed processes and incorrect construction of control forecasts. When describing the evolution of time series, an important point is the definition of the so-called “breakdown” points or, in another way, «trend change points». Most traditional methods and models for detecting the effect of the «trend change point» are based on the assumption that the probabilistic characteristics of the output signal of a serviceable technical object do not change over time, i.e. the measured stochastic signal is stationary. The authors of this paper state that it is necessary to search for new methods for analyzing the dynamics of complex systems or new approaches to describing non-stationary time series, especially if self-organization of such systems and the presence of memory of previous states is possible, for example, models and methods based on various types or combinations of machine

learning algorithms, such as neural networks, fuzzy logic, the method of regression support vectors and others.

In the work [3] «Building an experimental stand for studying the problem of time series classification in order to improve the quality of forecasting» it is described that time series are one of the most important objects in the field of machine learning. The time series contains a lot of information. Identification of the structure of the time series is necessary in order to build a mathematical model of the phenomenon described by the time series.

The study of the appearance of a diverse type and volume of traffic leads to the appearance of non-stationary traffic, unlike the previous network based on channel switching and with flows called the simplest, which had the properties of stationarity, ordinariness and with no aftereffect. They belonged to the general population of the normal distribution.

To recognize the non-stationarity of the time series, various methods can be used: visual analysis of the graphical representation of the time series for the presence of a trend and a periodic component, the method of averages, nonparametric tests, etc.

Materials and methods

Empirical data on the access network segment between LAN and ISP were obtained using the Wireshark sniffer program, which plays the role of capturing packets passing through the network.

In just five hours, 7655 packages were tracked. Figure 1 shows a sample from some general population of volume , or in another way a one-dimensional time series that characterizes the intensity of the number of data packets for every three minutes of time. At the same time, it is visually visible that the distribution of the number of packets has an uneven intensity, there are places with discharged areas where there are few incoming packets.

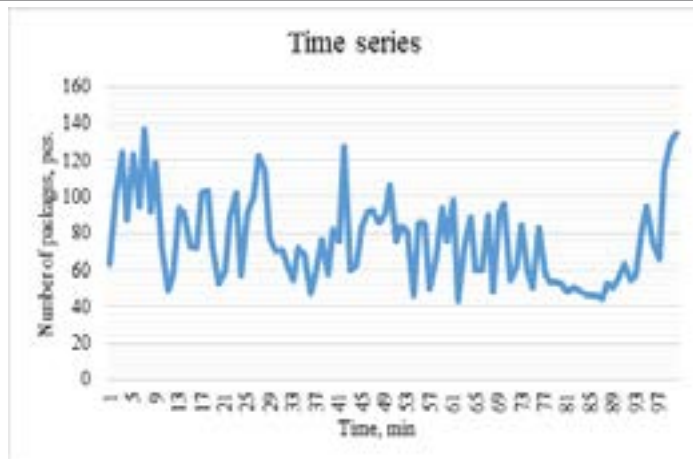


Figure 1 – Time series packet intensity on the access network

To find out whether the data is dependent or independent, there are parametric and nonparametric tests.

Parametric tests are those that make assumptions about the distribution parameters of the general population from which the sample is taken. It is often assumed that these data have a normal distribution.

Nonparametric tests are statistical conclusions that do not require any assumptions about the parameters of the studied population [4]. In this case, it is not the measured values themselves that are processed, but its rank (position within the sample) or frequencies.

To check the independence and stationarity of a number of observations, we will use nonparametric methods:

- series criterion based on the median of the sample;
- criterion of «ascending and descending» series;
- the iconic criterion of the Cox-Stewart trend.

Results and discussion

The series criterion allows you to check whether the order of occurrence of two values of a variable is random. A series is a sequence of similar observations. If there are either too many series or too few in the sample, then this sample is not random [5].

To identify the random order of occurrence of values or the fact of the presence or absence of a non-random (i.e., t-dependent) component as a whole, or to find out in another way whether there is a trend in the original sample at all, we will use the series criterion based on the median of the sample.

After constructing a variation series from the original time series, the median value of equal to 73 is determined.

Then the procedures of the series criterion are performed – accounting as a plus if and minus if . In this case, the members of the sample equal to in the sequence of pros and cons obtained in this way are not taken into account.

The resulting sequence of pros and cons is characterized by the total number of series and the length of the longest series .

By «series» is meant a sequence of consecutive pluses or consecutive minuses. The essence of testing the null hypothesis of randomly selecting values in the sample is that in the absence of systematic influence, the alternation of «+» and «-» should also occur randomly, therefore the number of series should be large enough, and the length of the longest series should not be large.

The values of and represent a two-dimensional random variable, which is a statistical criterion for testing the hypothesis.

The necessary calculations were given:

If one of the inequalities turns out to be violated, then the hypothesis of stochastic independence of the initial data is rejected with an error probability between :

$$u(n) > \left[\frac{1}{2}(n+1 - 1,96\sqrt{n-1}) \right] \quad (1)$$

$$\tau(n) < [3,3 \log_{10}(n+1)] \quad (2)$$

$$u(n) > \left[\frac{1}{2}(100+1 - 1,96\sqrt{100-1}) \right] = 40,75$$

$$\tau(n) < [3,3 \log_{10}(100+1)] = 6,614$$

The hypothesis of randomness is rejected, since both inequalities are violated. Since $u(n)=34$ is less than 40.75 and $\tau(n)=17$ is greater than 6.614.

This means there is a dependence in the observation, that is, evidence in favor of the presence of a trend.

The criterion of “ascending and descending” series is a more powerful criterion compared to the criterion of series based on the median.

The criterion of “ascending and descending” series, according to which the trend is determined by the following algorithm [6]:

$$\tau(n) < [3,3 \log_{10}(100+1)] = 6,614 \quad (3)$$

This criterion captures the bias of the estimation of mathematical expectation of a monotonous and periodic nature. If the subsequent observation is equal to the previous one, then only one observation is taken into account. Next, the number of series $v(n)$ is calculated [7].

As a result, the number of series was $v(n) = 57$ and the longest series was

$$l_{\max}(n) = 4.$$

If at least one of the following inequalities is violated, then the hypothesis of the absence of a trend is rejected with a confidence probability of 0.95:

$$\begin{cases} v(n) > \left[\frac{1}{3}(2n-1) - t_{\alpha} \sqrt{\frac{16n-29}{18}} \right] \\ l_{\max}(n) < t_{kp} \end{cases} \quad (4)$$

where t_{α} – quantile of the normal level distribution $(1-\alpha)/2$;

$$t_{kp} = 6, \text{ by } 26 \leq n < 153 \text{ (} n = 100 \text{)}$$

$$\begin{cases} v(n) > \left[\frac{1}{3}(200-1) - 1,96 \sqrt{\frac{1600-29}{90}} \right] = 58,14 \\ l_{\max}(n) < 6 \end{cases}$$

The numbers $v(n)$ and $l_{\max}(n)$ must be rounded down to the nearest integer.

If at least one of the inequalities is violated, it is assumed that there is a trend (trend).

If both conditions are met, respectively, there is no trend (trend).

As a result, we get:

$$\begin{cases} 57 > 58,14 \\ 4 < 6 \end{cases}$$

Checking the fulfillment of the conditions shows that one of the conditions is not fulfilled, so the hypothesis of the presence of a trend is accepted.

The method of the «Iconic Cox-Stewart trend criterion» was developed in 1955. This test requires dividing the studied series consisting of n values into three equal groups of $n/3$ values each ($n/3$ in our case [8]).

At the same time, we have the first x^1 , second x^2 , and third x^3 groups, but the first and third groups (x^1, x^3) will be considered with the difference of values

(x^3, x^1). Ultimately, based on these data, a «plus» sign is fixed with an increasing trend (s^+), a «minus» sign with a decreasing trend (s^-), zero with no trend (s^0), so $s^+ + s^- + s^0 = n/3$.

$$\hat{z} = \frac{|s - \frac{n}{6}| - 0,5}{\sqrt{\frac{n}{12}}} = 6,65. \quad (5)$$

where $S = \max\{s^+, s^-\}$, approximately distributed normally.

To calculate the value of \hat{z} , we use the data obtained during the study: $s^+ = 9$, $s^- = 25$, $s^0 = 0$, $S = \max\{9, 25\} = 25$.

$$\hat{z} = \frac{|25 - \frac{34}{6}| - 0,5}{\sqrt{\frac{34}{12}}} = 6,65. \quad (6)$$

If $\hat{z} = 6,65 > z_{0,05} = 1,96$ ($\alpha = 5\%$), then the null hypothesis is canceled, the time series has a trend.

Three nonparametric criteria confirmed the presence of a trend in the studied time series.

Singular spectral analysis (the «Caterpillar» method) was developed in Russia, and SSA (Singular Spectrum Analysis) was developed in the UK and the USA. This method of studying the structure of time series combines the advantages of the principal component method, Fourier analysis, the classical Karunen-Loev theorem and regression analysis. It transforms a one-dimensional series into a multidimensional one using a one-parameter shift procedure in order to decompose the time series into simple components: slow trends, seasonal and other periodic or oscillatory components, as well as noise components [9].

The «Caterpillar» method is nonparametric and does not require the one-dimensional series under study to belong to the corresponding distribution laws, preliminary stabilization of the series and does not depend on whether the series under study is stationary or not, it also has only one configurable parameter and the basic algorithm is implemented on the basis of simple linear algebra using a discrete convolution operator [10].

The original time series is embedded in the AtteStat program for decomposition into additive components in the amount of 15 and its petal diagram is shown in Figure 2.

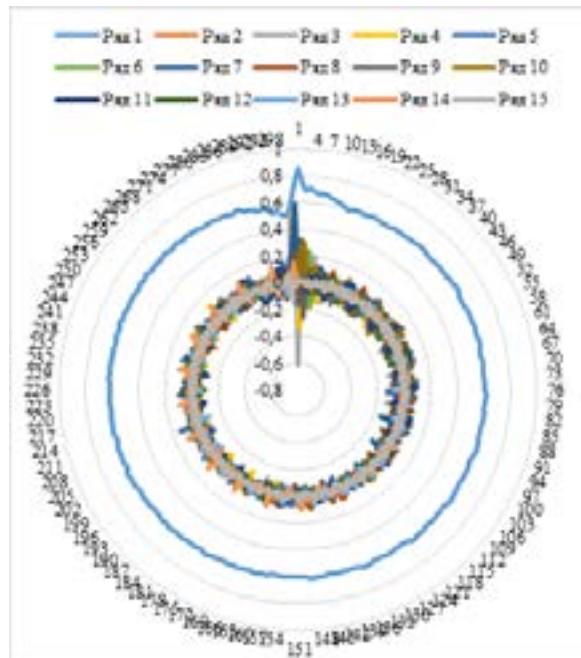


Figure 2 – Decompositions of the original time series into additive components

The above graph shows an explicit decomposition of a complex series into two parts:

- the first part with one low-frequency component of the time series is a trend (low-frequency oscillation, slowly changing);
- the second part is a set of medium and high frequencies of the components of the time series, which are the periodic components of the series and noise (high-frequency components).

Information about financing

This article was prepared as part of the government contract as requested by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan on the subject formulated as «Development of a method for improving the security of a telecommunications network based on IP-PBX Asterisk» (project No. AP14871745).

Conclusions

The actual measured data has a complex structure. Nonparametric tests (the series criterion, the «ascending and descending» series criterion and the Cox-

Stewart sign trend criterion) confirmed the presence of a trend in the original time series. The Caterpillar method graphically displayed the trend as a low-frequency component of a complex time series structure.

REFERENCES

- 1 Лоскутов, А. Ю., Михайлов, А. С. Основы теории сложных систем [Текст]. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – С. 620.
- 2 Андрианова, Е. Г., Головин, С. А., Зыков, С. В., Лесько, С. А., Чукалина, Е. Р. Обзор современных моделей и методов анализа временных рядов динамики процессов в социальных, экономических и социотехнических системах. Russian Technological Journal. 2020; 8 (4)– С. 7 – 45.
- 3 Построение экспериментального стенда для исследования задачи классификации временных рядов с целью повышения качества прогнозирования [Электронный ресурс] – <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A3%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA:Stsupkov>, (дата обращения 05. 08. 2022).
- 4 Непараметрические тесты [Электронный ресурс], – <https://www.statmethods.ru/statistics-metody/parametricheskie-testy/>, (дата обращения 05.08.2022).
- 5 Градов, В. М., Овечкин, Г. В., Овечкин, П. В., Рудаков, И. В. Компьютерное моделирование [Текст]: учебник. – М. : КУРС : ИНФРА-М, 2020. – 264 с. – ISBN 978–5-906818–79–9.
- 6 Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: Учебник для ВУЗов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2004. – 573 с. – ISBN 5-238-00573–3.
- 7 Тимофеев, В. С. Методы и алгоритмы анализа нечисловых данных [Текст]: учеб. пособие / В. С. Тимофеев, А. Ю. Тимофеева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 83 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-7782-4483-2.
- 8 Ledvinka, Ondrej. Is the Cox-Stuart test for trend really insensitive to autocorrelation? // Conference: FRIEND-Water 2014. – 2014. – P. 68–69.
- 9 T. Fujiwara, Shilpika, N. Sakamoto, J. Nonaka, K. Yamamoto and K. – L. Ma, «A Visual Analytics Framework for Reviewing Multivariate Time-Series Data with Dimensionality Reduction,» in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, – Vol. 27, no. 2, P. 1601-1611, Feb. 2021, doi: 10.1109/TVCG.2020.3028889.
- 10 Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница» – SSA: анализ временных рядов [Текст]: Учеб.пособие. – СПб., 2004. – С. 76.

REFERENCES

1 **Loskutov, A. YU., Mihajlov, A. S.** Osnovy teorii slozhnyh sistem [Fundamentals of the theory of complex systems]. – М. – Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovanij, 2007. – S. 620.

2 **Andrianova, E. G., Golovin, S. A., Zykov, S. V., Les'ko, S. A., Chukalina, E. R.** Obzor sovremennyh modelej i metodov analiza vremennyh ryadov dinamiki processov v social'nyh, ekonomicheskikh i sociotekhnicheskikh sistemah [Review of modern models and methods for analyzing time series of process dynamics in social, economic and sociotechnical systems]. Russian Technological Journal. 2020; 8(4): S. 7 – 45.

3 Postroenie eksperimental'nogo stenda dlya issledovaniya zadachi klassifikacii vremennyh ryadov s cel'yu povysheniya kachestva prognozirovaniya [Elektronnyj resurs], – [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A3%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA:Sts_upkov_\(data_obrashcheniya_05.08.2022\)](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A3%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA:Sts_upkov_(data_obrashcheniya_05.08.2022)).

4 Neparаметрические тесты [Elektronnyj resurs], – <https://www.statmethods.ru/statistics-metody/neparаметрические-testy/>, (data obrashcheniya 05.08.2022).

5 **Gradov, V. M., Ovechkin, G. V., Ovechkin, P. V., Rudakov, I. V.** Komp'yuternoe modelirovanie [Computer simulation]: uchebnik. – М: KURS: INFRA–M, 2020. – 264 s. – ISBN 978–5–906818–79–9.

6 **Kremer, N. S.** Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]: Uchebnik dlya VUZov. 2-e izd., pererab. i dop. – М. : YUNITI-. DANA, 2004. – 573 s. – ISBN 5-238-00573-3.

7 **Timofeev, V. S.** Metody i algoritmy analiza nechislovyh dannyh [Methods and algorithms for analyzing non-numeric data]: ucheb. posobie / V. S. Timofeev, A. YU. Timofeeva. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2021. – 83 s. – 100 ekz. – ISBN 978-5-7782-4483-2.

8 **Ledvinka, Ondrej.** Is the Cox-Stuart test for trend really insensitive to autocorrelation? // Conference: FRIEND-Water 2014. – 2014. – P. 68–69.

9 **T. Fujiwara, Shilpika, N. Sakamoto, J. Nonaka, K. Yamamoto and K. -L. Ma,** «A Visual Analytics Framework for Reviewing Multivariate Time-Series Data with Dimensionality Reduction,» in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 27, no. 2, pp. 1601-1611, Feb. 2021, doi: 10.1109/TVCG.2020.3028889.

10 **Golyandina, N. E.** Metod «Gusenica»-SSA: analiz vremennyh ryadov [Caterpillar-SSA method: Time series analysis]: Ucheb.posobie. – Spb., 2004. – С. 76.

Material received on 15.09.22.

*Д. А. Наубетов¹, М. З. Якубова², Ш. А. Мирзакулова³, Т. Ф. Сериков⁴

^{1,2}Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

³Туран университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁴С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ЖЕЛІЛІК ҚАТЫНАУ ТРАФИГІН БАҒАЛАУДЫҢ ПАРАМЕТРЛІК ЕМЕС КРИТЕРИЙЛЕРІ

Мақалада желіге кіру трафигінің тенденциясын бағалау үшін параметрлік емес критерийлер қолданылады. Тәжірибе көрсеткендей, көптеген нақты процестер стационарлық қасиеттерді қанағаттандырмайды. Олар тренден, дисперсияның жүйелі өзгеруімен, мерзімді ауытқулардың болуымен және уақыт қатарларының деңгейлері арасында өзгертін өзара тәуелділіктердің болуымен сипатталады. Осы тақырыпқа арналған кейбір шетелдік мақалаларға шолу жасалды. Wireshark сиффер-бағдарламасы қолданылды, оның міндеті – желі арқылы өтетін пакеттерді ұстау. LAN және ISP арасындағы қол жеткізу желісінің аймағында эмпирикалық мәліметтер алынды. Мақалада параметрлік емес тестілердің көмегімен (серия критерийі, «жоғары және төмен» сериялары критерийі, Кокс-Стюарттың белгі критерийі және «Жұлдызқұрт» әдісі) қол жеткізу желісінде өлшенген уақыт қатарында трендтің болуы туралы гипотезаны тексеру жүзеге асырылды. Уақыт қатарының оның компоненттеріне ыдырауы орындалды.

Кілтті сөздер: қол жеткізу желісі, уақыт сериясы, тренд, стационарлық, параметрлік емес өлшемдер.

*Д. А. Наубетов¹, М. З. Якубова², Ш. А. Мирзакулова³, Т. Ф. Сериков⁴

^{1,2}Алматынський университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы;

³Университет Туран, Республика Казахстан, г. Алматы;

⁴Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Нур-Султан

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕНДЕНЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДОСТУПА

В статье используются непараметрические критерии для оценки тенденции трафика доступа к сети. Практика показывает, что большинство реальных процессов не удовлетворяет свойствам стационарности. Они характеризуются трендом, систематическими изменениями дисперсии, наличием периодических флуктуаций и наличием изменяющихся взаимозависимостей между уровнями временного ряда. Выполнен обзор некоторых иностранных статей, посвященных данной теме. Также, использована программа-сниффер Wireshark задача которой является захват пакетов, проходящих через сеть. Получены эмпирические данные на участке сети доступа между LAN и ISP. В статье с помощью непараметрических тестов (критерий серий, критерий «восходящих и нисходящих» серий, знаковый критерий Кокса-Стюарта и метода «Гусеница») осуществлена проверка гипотезы о наличии тренда в измеренном временном ряде на сети доступа. Выполнено разложение временного ряда на его составляющие.

Ключевые слова: сеть доступа, временной ряд, тренд, стационарность, непараметрические критерии.

SRSTE 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/IKLZ1109>

***A.V. Neftisov¹, A.Zh Sarinova², O.M Talipov³,
L. N Kirichenko⁴, I. M. Kazambaev⁵**

^{1,2,3,4,5} Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
S.Seifullin Kazakh AgroTechnical University
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

POSSIBILITY OF BUILDING MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION DEVICES ON OPEN ARCHITECTURE

The article analyzes the structure of relay protection devices of various designs. Based on the Unified Electric Power System of the Republic of Kazakhstan prediction on the electric energy balance the plan to increase the generation of electricity due to the commissioning of new capacities was revealed. In addition, the international market of the energy sector and a preliminary forecast for the total demand for energy separated into the declared scenarios and the scenario of sustainable development of electricity generation, cumulative average annual growth rate, electric capacity by countries, continents and regions were studied. It is determined that the type of power generation system and the fuel used affect the features of building and updating relay protection systems. The hypothesis of the study is the replacement of existing closed solutions on the market of relay protection systems with open hardware and software, which allow developing and applying then various power supply systems, including FPGAs. Within the framework of the study, solutions for building a microprocessor relay on an open architecture were proposed: a block diagram and a developed laboratory stand “relay protection microprocessor on an Arduino board”; «Relay protection microprocessor using FPGA». Comparative data on the characteristics of the boards are presented, where the FPGA board is more effective in all respects. The program was developed in the Quartus Prime 21.1 Lite Edition environment. Based on the results of the work, it can be noted that aim of the further research will be the expansion of the microprocessor relay protection devices based on an open architecture use.

Keywords: relay protection, open architecture, FPGA, microprocessor protection, FPGA, automation, control

Introduction

Relay protection is a type of automation of the power system, without which its normal operation is impossible. Relay protection devices (RP) are designed to detect and disable damage to electrical installations and usually contain a measuring (MP) and logical part (LP) and an output organ (VO) (Figure 1) [1].

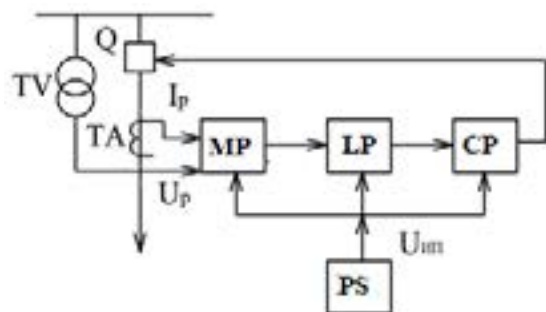


Figure 1– Typical structure of relay protection devices

The measuring part (MP) receives information about the state of the object using devices such as measuring current transformers (CT), voltage transformers (VT) or contactless sensors. However, currently most relay protections use measuring transformers [2]. Moreover, if a relay is used, the state of the protected object is described by discrete signals, then due to the microprocessor, information is received in the form of an analog signal, which expands the protection functionality [3].

The main elements of digital relay protection are the following functional blocks: analog AC inputs, elements for digital signal processing, digital inputs, digital outputs, human-machine interface (HMI), system interface, functional interface [4].

Digital relay protection devices for various purposes have a lot in common, and their block diagrams are very similar (Figure 2). It should be noted that in a real relay protection device, several microprocessors can be used, each of which will be engaged in solving a separate fragment of a common task in order to ensure high performance. For example, 7-10 microprocessors working in parallel are used in complex relay protection devices [5].

The main elements of digital relay protection are the following functional blocks: analog AC inputs, elements for digital signal processing, digital inputs, digital outputs, functional control keyboard, display, service interface, system interface, functional interface [4].

The analog signal converter lowers the value of the current from current (TA) and voltage (TV) transformers and changes it to digital. The converted signal is processed by control unit (CU), RAM, ROM, PROM and as the result the digital outputs module activates the control part, which trips the circuit breaker (Q). Through the digital inputs module, the CU monitors the state of the control part and, therefore, the state of the circuit breaker

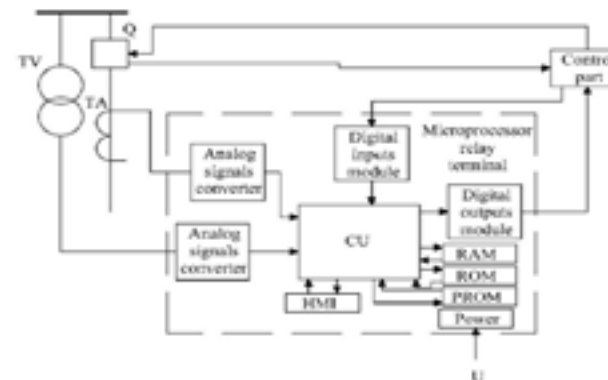


Figure 2 – Block diagram of a digital relay protection device

Materials and methods

At this stage of development, the domestic relay protection market needs to update existing relay protection systems, as well as the introduction of new solutions that can meet the needs of the market.

According to the order of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan No. 16 dated 14.01.2022, electricity production will increase to 131.7 billion by 2028. kW due to the introduction of new capacities, including stations with renewable energy sources (RES). Figure 3 shows the forecast balance of electric energy of the Unified Electric Power System of the Republic of Kazakhstan for the period 2022–2028.

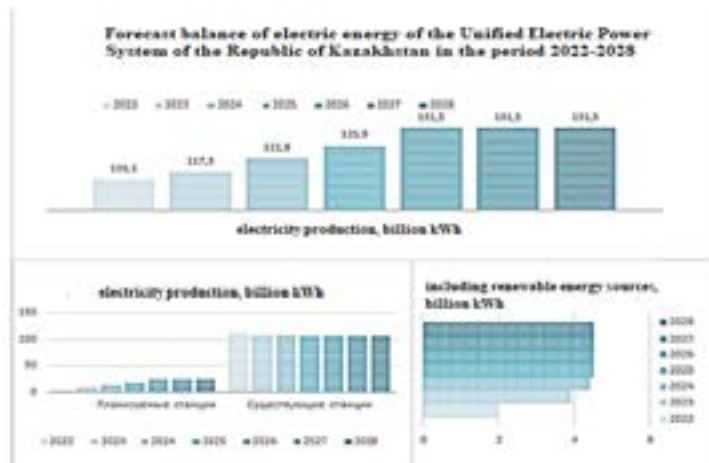


Figure 3 – Forecast balance of electric energy of the Unified Electric Power System of the Republic of Kazakhstan for the period 2022–2028

From 2022 to 2028, it is planned to reduce the load by 4 % on existing stations. Electricity production at the expense of stations that are planned to be put into operation by 2028 will increase from 4.6 billion. kWh. (2022) up to 25.6 billion. kWh. (2028), including by increasing electricity generation at renewable energy facilities by 64 % by 2025 and maintaining this volume until 2028.

Figure 4 shows a diagram of the projected balance of electric power for 2022-2028 due to the introduction of new capacities. The commissioning of new capacities includes the reconstruction and expansion of current facilities, as well as the construction of new power plants.

From 2022 to 2028, it is planned to increase the capacity of the Unified Electric Power System of the Republic of Kazakhstan by introducing new capacities 5 times in the western zone (from 167 MW/hour in 2022 to 820 MW/hour in 2028), 7 times in the northern zone (from 263 MW/hour in 2022 to 1849 MW/hour for 2028) and 7.8 times in the southern zone (from 79 MW/hour for 2022 to 623 MW/hour for 2028) [6].

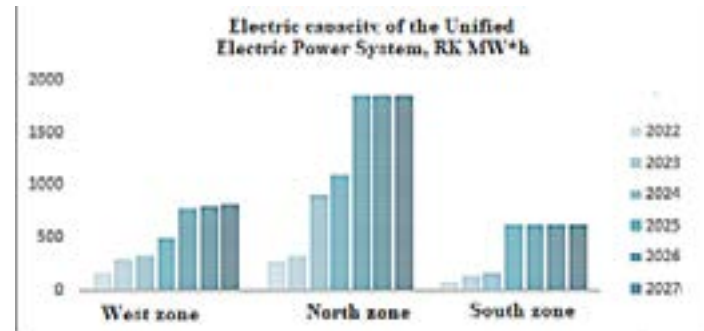


Figure 4 – Forecast balance of electric capacity of the Unified Electric Power System of the Republic of Kazakhstan per hour by zones due to the introduction of new capacities.

We can observe a similar trend in the international energy sector market, which is confirmed by the 2020 international forecast of the US Energy Information Administration, according to which by 2040, according to the scenario of the stated policy, electricity generation will grow to 40094 TWh, which is 1.48 times more than in 2019 (26619 TWh) [7]. Figure 5 shows a preliminary forecast for total energy demand by scenario.

The type of power generation system, the type of fuel used also affects the features of the construction of relay protection systems. The average annual growth rate of RES will be 5.1%. In turn, according to the sustainable development scenario, the share of RES by 2040 will be 72 % with an average annual growth rate of 6.7 %. The largest share will be wind energy (25 % and 39 %), solar photovoltaic system (15 % and 22%), respectively, according to the scenarios of the declared policy and sustainable development. [7].

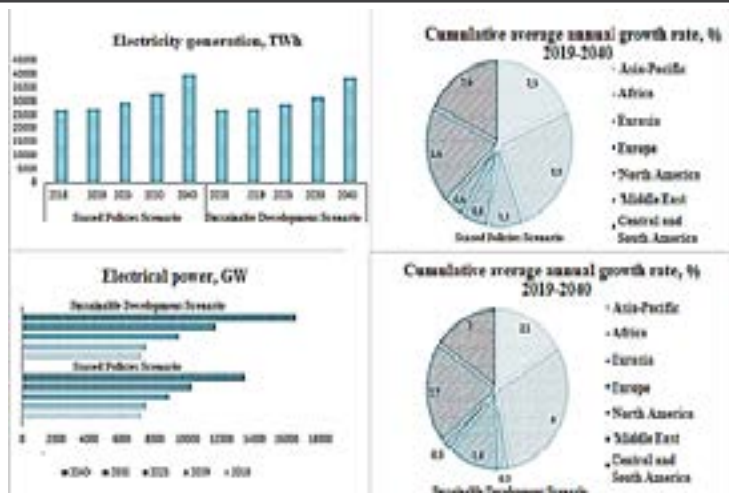


Figure 5 – Forecast for total electricity demand by scenario

An increase in the share of renewable energy sources, in turn, will lead to the need for the operation of relay protection systems in the presence of various types of generation systems.

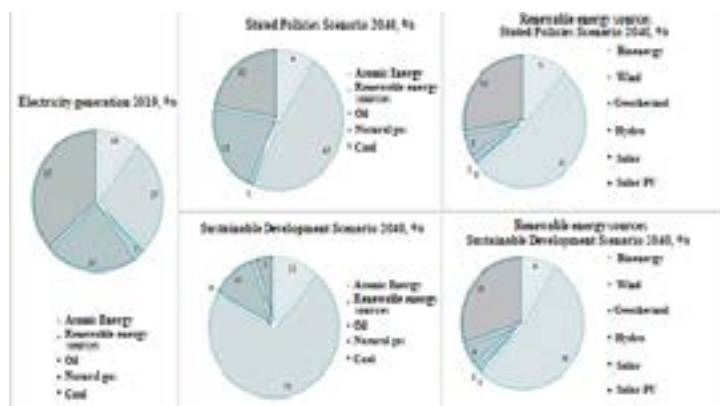


Figure 6 – Forecast of energy production from 2019 to 2040 by scenario

As a result of an increase in the amount of global electricity generation due to the growing demand for electricity, an increase in renewable substation automation capacities, as well as an increase in modification in the manufacturing industry,

the market for protective relays and relay protection systems is expected to grow in developing countries in Asia, the Middle East and Africa. According to the forecast of the company Market Research Future (MR. FR), the global protective relay market will reach 7.11 billion US dollars by 2027, compared with a market volume of 2.79 billion US dollars in 2020, with an average annual growth rate of 7.57% during the forecast period (Figure 7) [8].

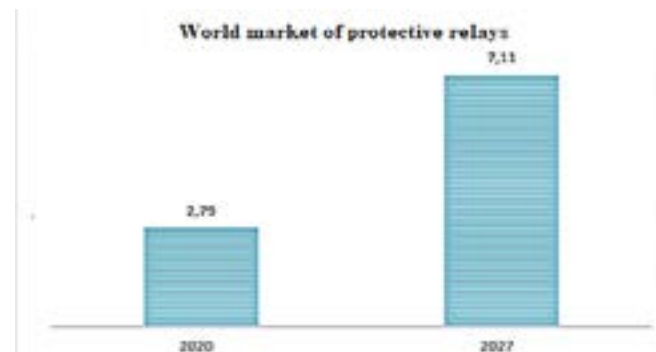


Figure 7 – World market of protective relays

At the moment, the main players in the global market of protective relays, as well as other circuit protection devices, are ABB, General Electric, Siemens, Eaton and Schneider Electric [9].

However, it is worth noting that all available solutions on the market are closed, not involving development and modernization, that is, they do not allow changing algorithms, but only with the possibility of engineering settings, filling in setpoints, for example during start-up and commissioning.

At the present stage of the development of the industry and the development of digital technologies, the direction of open hardware has been developed, which is computer and electronic hardware, created as well as open software (software) [10]. A feature of the open architecture is the principle of openness of equipment made according to drawings, diagrams, layouts of printed circuit boards, source code in HDL (hardware description language), descriptions of materials and other logical programming languages.

Advantages over closed solutions in comparison with open equipment may be the following factors [11]:

- Innovation. The design of open equipment provides cost savings due to the repeated use of components, short terms of product release to the market and quality improvement due to the principle of free access.

- Democratization. Open hardware design processes are available to all users without licensing costs.

- Security. Information security is achieved by hiding design features that are a trade secret, but attackers can find and exploit weaknesses of computer systems. [12].

Open hardware solutions are used in various industries: telecommunications, automation systems, as well as in relay protection devices.

There is a device for differential protection built on FPGA [13]. The algorithm of operation is implemented using Modelsim software, and then on FGPA using Quartus prime software. The device was programmed so that it could distinguish between internal and external faults.

The FPGA board used in this study is an Altera DE2-115 board, which is equipped with Cyclone IV E (EP4CE115F29C7), where the relay algorithm is programmed.

To test the effectiveness of the proposed FPGA-based digital differential protection scheme, MATLAB software is used to perform the in-the-loop (FIL) operation.

A large-scale model of a wind farm connected to the grid has also been developed in MATLAB/Simulink to test the proposed protection scheme, which is shown in Figure 8.

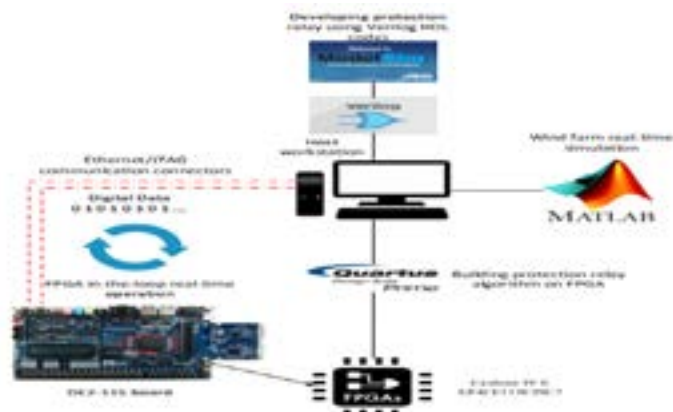


Figure 8 – Large-scale model

In [14], a digital relay on the FPGA is proposed. All relay submodules have been developed in VHDL and can be easily ported to various development environments.

The resistance relay was implemented on the Xilinx Virtex-7 XC7VX485T FPGA, using Xilinx ISE 14.1 tools for synthesis and implementation of the architecture.

Results and discussion

The solution of building a microprocessor relay on an open architecture is possible on the basis of an Arduino using an ATmega328 microprocessor. The algorithm of operation is implemented in the software Arduino IDE 1.8.19. Microprocessor relay protection is made in the form of a reed switch 1, on which an inductor coil 2 is wound (Figure 10). Trigger 3 K155LA3 is used to eliminate the contact rattle. The ATmega328P board is accepted as the logical part 4. Information about the short-circuit current is displayed on the display 5 of the LCD1602 model. The output body of the microprocessor relay protection is made in the form of an output relay 6. To test the device, a linear auto transformer and an oscilloscope 7 AKIP-4115 were used.

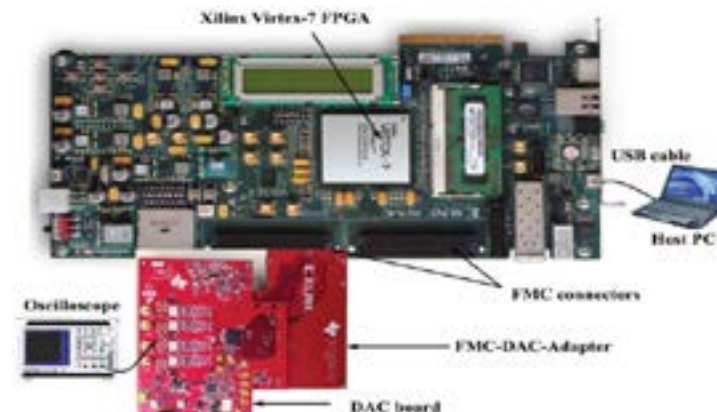


Рисунок 9 – Реле сопротивления на Xilinx Vertex-7

The measurement of the short circuit current is carried out thanks to the Arduino IDE 1.8.19 program. The algorithm of operation consists in measuring the time when the reed switch 1 contact is in a closed state.

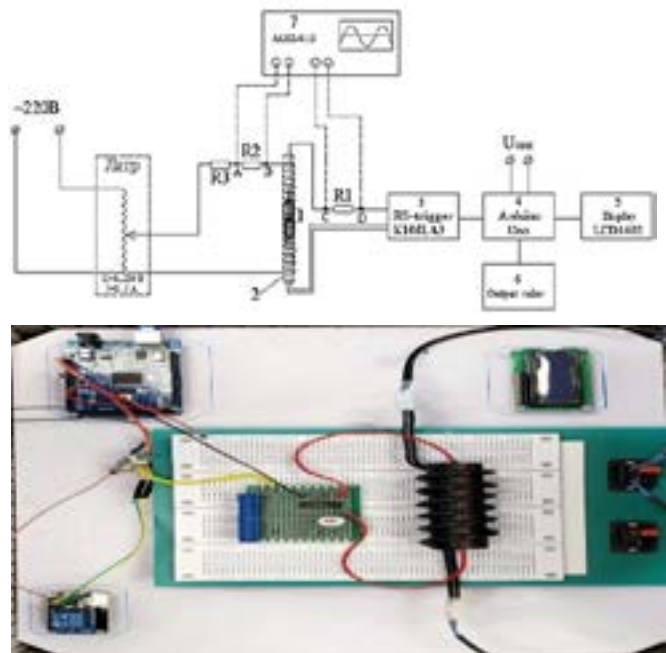


Figure 10 – Structure of the microprocessor relay protection device on Arduino

The Arduino solution, however, has its drawbacks. For example, interference is quite easily applied to the board. Low productivity, and therefore relatively long processing of information. To eliminate these shortcomings, an FPGA with an open architecture of the ALTERA Cyclone IV EP4CE6E22C8N model is proposed to replace the Arduino ATmega328. Comparative characteristics of the proposed prototype and the known one are presented in Table 2 [15, 16].

Reed switch 1, as in the previous device, is connected by a contact to the RS-trigger K155LA4, which performs the function of an anti-rattling circuit, with an output connected to the Cyclone IV FPGA board 3. The result of short circuit detection is the operation of the output relay 4, and the current value is output via the display 5.

Table 2 – Comparative characteristics of microprocessor boards

Position	Arduino ATmega328p	ALTERA Cyclone IV
Clock frequency	16 MHz	402 MHz
SRAM	2 Kb	from 9 Kb
Built-in memory	16 Kb	6.3 Mb

The proposed device is similar in structure to a traditional microprocessor relay protection. However, instead of a traditional terminal, an FPGA is used (Figure 11).

The short circuit current is generated using a linear autotransformer (LATR) and an inductor (CI) 2 and resistors R2 and R3. The values of the currents and the duration of the closed state of the reed switch contacts 1 are determined using an oscilloscope 7 AKIP-4115.

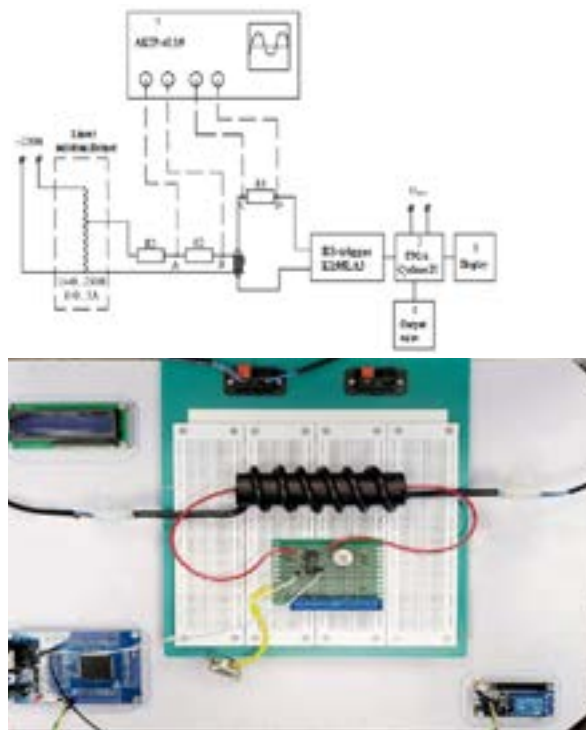


Figure 11 – Microprocessor relay protection using FPGA

The short circuit current is determined according to the program developed in the Quartus Prime 21.1 Lite Edition environment. A fragment of this code is written as follows

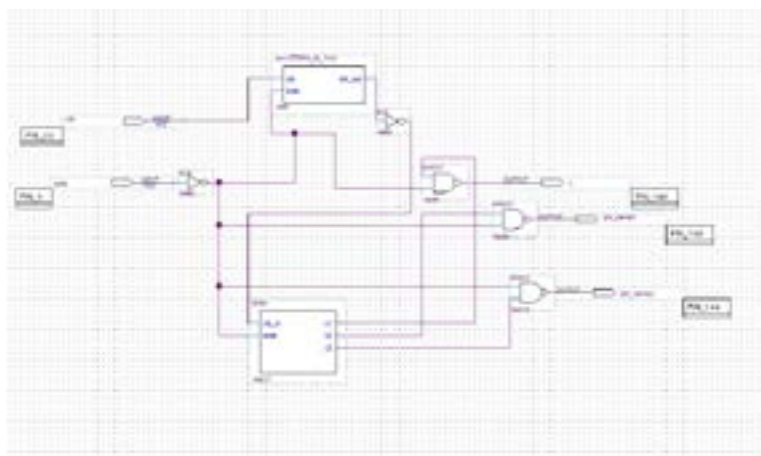


Figure 12 – Block diagram in FBD language

According to the diagram in Figure 12, PIN_23 with the name clk, performs the function of a pulse generator with a frequency of 27 MHz. It is connected to the PIN_1 input with the name sub, to the reed switch contact. Thus, when the reed switch is triggered, the block (conv27MHz_to_1ms) converts a pulse with a frequency of 27 MHz into a pulse with a frequency of 100 Hz. The Timer block starts counting only after the reed switch is triggered. If the reed switch has been closed for 7 milliseconds, then a trip current equal to 342.3 A is selected. In the case when the reed switch is closed for 8 milliseconds or more, the FPGA selects the tripping current equal to 390.7, otherwise the setpoint is selected equal to 369.8 A. The FPGA performs a calculation according to which the value of the measured tripping current is displayed on the display, and simultaneously sends a signal to the output relay, which, when triggered, turns off the switch.

Conclusion

The assessment of electricity production, as well as the dynamics of the introduction of new capacities, shows that there is a need for relay protection devices.

There are isolated attempts to implement relay protection devices on FPGAs.

According to known data, their parameters meet the requirements. Microprocessor relay protection devices can be designed on the basis of open hardware platforms, however, it will be possible to talk about the application

only after studies of the devices being developed, as well as experimental and industrial operations.

Further research will be aimed at building a solution on STM32. In the future, it is necessary to study the functioning of devices based on FPGA, STM32 and a well-known solution on the market.

Appreciation

The research was carried out within the framework of grant funding of the scientific project IRN AP13067967 «Development of technology for building microprocessor resource-saving relay protection devices based on an open architecture».

REFERENCES

- 1 Chernobrov, N. V., Semenov, V. A. Relay protection of energy systems. – M.: Energoatomizdat, 1998. – 800 p.
- 2 Kuzmin, I. L., Ivanov I. Yu., Piskovatsky, Yu. V. Microprocessor relay protection devices: textbook / – Kazan: Kazan State Energy University, 2015. – 310 p.
- 3 Understanding microprocessor-based technology applied to relaying – IEEE comitee, 2009 p.
- 4 Galagurov, A. B., Belov D. V. Microprocessor devices of relay protection and automation of the autotransformer. // Science, Technology and Education. 2019. No. 6 (59). 33-36 p.
- 5 Schneerson, E. M. Digital relay protection. – M.: Energoatomizdat, 2007. – 549 p.
- 6 Order of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan No. 16 dated 14.01.2022
- 7 World Energy Outlook 2020 [Electronic resource]. – URL: <https://www.iea.org/> (accessed 23.08.2022)
- 8 Protective Relay Market Research Report, Voltage, Application, Operating Mechanism, End-Use and Region - Forecast till 2027.
- 9 Protective Relay Market Research Report - Forecast till 2030
- 10 Open hardware / Open Source Hardware [Electronic resource]. – URL: <https://www.zenway.ru> (accessed 15.07.2022)
- 11 Open hardware | Open systems. DBMS| Open Systems Publishing House [Electronic resource]. – URL: <https://www.osp.ru> (accessed 15.07.2022)
- 12 Open Source-hardware as a security guarantor | Kaspersky Blog [Electronic resource]. – URL: <https://www.kaspersky.ru> (accessed 15.07.2022) 13 M. N. Uddin and N. Rezaei, «An ПЛИС-based Cost-effective Digital Differential Relay for

Wind Farm Protection» 2020 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/IAS44978.2020.9334863.

14 **Y. Wang, and V. Dinavahi**, «Low-Latency Distance Protective Relay on ПЛИС» in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 896-905, March 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2278697.

15 Arduino® MEGA 2560 Rev3, 1–2 с.

16 Cyclone IV Device Handbook, Volume 3, 1–23 с.

Material received on 15.09.22.

* *А. В Нефтисов¹, А. Ж. Саринова² О. М. Талипов³, Л. Н. Кириченко⁴, И. М. Казамбаев⁵*

^{1,2,3,4,5} Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

АШЫҚ АРХИТЕКТУРАДА МИКРОПРОЦЕССОРЛЫ РЕЛЕ ҚОРҒАУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН ҚҰРУ МҮМКІНДІГІ

Жұмыста әртүрлі конструкциялардың релелік қорғаныс құрылғыларының құрылымы талданады. Қазақстан Республикасының Бірыңғай электр энергетикалық жүйесінің электр энергиясының болжамды балансы негізінде жаңа қуаттарды іске қосу есебінен электр энергиясын өндіруді арттыру жоспарланып отырғаны анықталды. Сондай-ақ, энергетикалық сектордың халықаралық нарығы және мәлімделген сценарийлер мен елдер, континенттер және аймақтар бойынша тұрақты даму сценарийі бойынша бөлінген энергияға жалты сұраныстың алдын ала болжамы зерттелді: электр энергиясын өндіру, жиынтық орташа жылдық өсу қарқыны. Электр сыйымдылығы. Энергияны өндіру жүйесінің түрі және қолданылатын отын релелік қорғаныс жүйелерін құру және жаңарту ерекшеліктеріне әсер ететіні анықталды. Зерттеудің гипотезасы релелік қорғаныс жүйелері нарығындағы қолданыстағы жабық шешімдерді ашық аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етумен ауыстыру болып табылады, бұл оны әртүрлі электрмен жабдықтау жүйелерінде, соның ішінде FPGA-да әзірлеуге және қолдануға мүмкіндік береді. Зерттеу аясында ашық архитектурада микропроцессорлық реле құру шешімдері ұсынылды: блок-схема

және «Arduino тақтасындағы релелік қорғаныс микропроцессоры» әзірленген зертханалық стенд; «FPGA қолданатын релелік қорғаныс микропроцессоры». Тақталардың сипаттамалары бойынша салыстырмалы деректер ұсынылған, мұнда FPGA тақтасы барлық жағынан тиімді. Бағдарлама Quartus Prime 21.1 Lite Edition ортасында әзірленді. Жүргізілген жұмыстардың нәтижелері бойынша алдағы зерттеулер ашық архитектура негізіндегі микропроцессорлық релелік қорғаныс құрылғыларын қолдануды кеңейтуге бағытталатынын атап өтуге болады.

Кілтті сөздер: релелік қорғаныс, ашық архитектура, FPGA, микропроцессорлық қорғау, FPGA, автоматтандыру, басқару.

* *А. В Нефтисов¹, А. Ж. Саринова² О. М. Талипов³,*

Л. Н. Кириченко⁴, И. М. Казамбаев⁵

^{1,2,3,4,5} Astana IT University, Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Нур-Султан

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРЕ

В работе проанализирована структура устройств релейной защиты различного исполнения. На основе прогнозного баланса электрической энергии Единой электроэнергетической системы Республики Казахстан, выявлено что планируется увеличение генерации электроэнергии за счёт ввода новых мощностей. Также исследован международный рынок энергетического сектора и предварительный прогноз на общий спрос на энергию в разбивке по заявленному сценариям и сценарию устойчивого развития в разрезе стран, материков и регионов: выработке электроэнергии, совокупному среднегодовому темпу роста, электрической мощности. Определено, что тип системы генерации электроэнергии и используемое топливо влияет на особенности построения и обновления систем релейной защиты. Гипотезой исследования является замена имеющихся закрытых решений на рынке систем релейной защиты на открытое аппаратное и программное обеспечение, позволяющее разработать и применять его в различных системах энергоснабжения, в том числе

на ПЛИС. В рамках исследования предложены решения построения микропроцессорного реле на открытой архитектуре: структурная схема и разработанный лабораторный стенд «микропроцессор релейной защиты на плате Arduino»; «микропроцессор релейной защиты с применением ПЛИС». Представлены сравнительные данные по характеристикам плат, где по всем параметрам эффективным является плата ПЛИС. Разработка программы выполнялась в среде Quartus Prime 21.1 Lite Edition. По результатам работы можно отметить, что дальнейшие исследования будут направлены на расширение применения микропроцессорных устройств релейной защиты на базе открытой архитектуры.

Ключевые слова: релейная защита, открытая архитектура, ПЛИС, микропроцессорная защита, ПЛИС, автоматизация, управление.

SRSTI 44.31.01

<https://doi.org/10.48081/RKWX7770>

*G. G. Zhabalova¹, O. N. Onishchenko², S. N. Kamarova³,
O. N. Lelikova⁴

^{1,2,3,4}Karaganda Industrial university, Republic Kazakhstan, Temirtau

RECONSTRUCTION OF THE ASH AND SLAG REMOVAL SYSTEM IN CHP-2 OF JSC «ARSELORMITTAL TEMIRTAU»

This article discusses the modernization of the ash and slag removal system at CHPP-2 of JSC «ArcelorMittal Temirtau», the transition from the wet method of cleaning ash and slag to a more technologically advanced dry one. The long-term use of the hydraulic ash and slag removal system (GZSHU) has led to the accumulation of a huge amount of ash, which is subsequently not used. A comprehensive replacement of wet cleaning equipment for dry cleaning is considered. The wet method offers quenching with water (in this case, up to 1 % of the thermal efficiency of the TP-81 boiler unit is lost), followed by the use of drag pumps and the removal of ash and slag through the hydraulic ash removal channels to the ash dump.

In the future, this ash cannot be used. During dry ash and slag removal, extinguishing with water is not used, but a pneumatic system for removing combustion products is used. Ash from gas cleaning plants through a system of pneumatic chamber pumps and intermediate hoppers is fed through ash pipelines to a silo warehouse. The use of this technology allows minimizing the harmful impact on the environment by reducing groundwater pollution with pulp, reducing the area of ash dumps, reducing water consumption by the station, using ordinary types of steel in pipeline systems, and reducing the cost of equipment maintenance.

Keywords: boiler, slag, ash and slag removal, dust preparation, hydraulic ash removal, fuel, coal, ash.

Introduction

Today, ash disposal is an urgent problem. Up to 30 million tons of ash and slag waste is generated annually in Kazakhstan, most of which is sent to giant dumps and is not used in any way.

In order to use ash and slag, it must be turned into a commodity, it is necessary to modernize the ash and slag removal system operating at the coal-fired CHPP-2, replacing the wet method with a more technologically advanced dry one.

The long-term use of the hydraulic ash and slag removal system (GZSHU) has led to the accumulation of a huge amount of ash, which is subsequently not used.

The toxicity of ash and slag hydromass consists in the release of alkali, which enters directly into the ground, contaminating groundwater. Obvious environmental consequences are complemented by economic ones [1].

Materials and methods

The hydraulic ash removal system is designed to remove ash and slag from the bunkers of the boiler unit and transport them outside the station territory (ash dump).

In the boiler shop of CHPP-2 in JSC «ArcelorMittal Temirtau» two pump rooms are installed, to which process water is supplied from the circulation conduit №7 through valves with a diameter of 400 to the pump room №1,2 and from the circulation conduit №8 through a valve with a diameter of 600 additionally to the pump room branch №2. Clarified water is supplied from the GTS workshop to the CHPP-2 boiler shop through the JET filter located inside building of the bager pump house №2. The filter is cut off by two valves with a diameter of 400 [2].

The filter is equipped with a bypass line through a valve with a diameter of 300. Further, after the filter, the clarified water collector before entering the boiler shop is divided into two flows into pump rooms №1 and №2. One pipeline enters to pump room №2 through a valve with a diameter of 300, the other pipeline, passing through the workshop №1 along row D at elevation 4m in the area of DV-4B through a sectional valve with a diameter of 400, enters the suction in pump room №1 through a valve with a diameter of 400. Pump room №1 is mounted at the permanent end of the boiler shop.

In the distribution manifold of pump room No. 1, the suctions of flushing pumps NSV No. 1,2 and irrigation pumps NOV No. 1,2,3 and washing of boilers NOK No. 3 crash into the distribution manifold. Pump room No. 2 is mounted between queues No. 1 and 2. Suctions of flushing pumps NSV No. 3,4 and irrigation pumps NOV No. 4,5,6 and washing of boilers NOK No. 2 crash into the distribution manifold of the pump room. Heads NSV No. 1-4 through valves supply water to a common collection manifold of flush water with a diameter of 325x8, mounted along row D. From it, through a pipeline with a diameter of 159x4mm, water is supplied to the incentive nozzles of the GZU channels, the ShZU channel, slag baths, through a pipeline with a diameter of 133x4mm on flushing nozzles of trays (collecting collectors for water seals) of electrostatic precipitators, on irrigation units of ring emulsifiers of boilers TP-81 No. 1-4. In the DV-4B area of the flush manifold, a sectional valve with a diameter of 300 was mounted. In the area of

DV-2A, 2B, the flushing intakes of the boilers NOK No. 1 and 4 cut into the flush manifold from the flush manifold.

Heads NOV No. 1-6 through valves supply water to a common collecting collector of irrigation water with a diameter of 325x8 mm, mounted along row E. From the irrigation collector, water is supplied to the irrigation units of the ring emulsifiers of boilers TP-81 No. 1-4 and to irrigation of hydraulic seals of electrostatic precipitators of boilers TP- 81 No. 5 and 6 through 4 collectors 89x3.5. In the area of the ring emulsifiers TP-81 No. 3, a circulation line is provided through a valve with a diameter of 300 mm between the irrigation and clarified water collectors [3].

To clean flue gases at the boiler unit TP-81 No. 5,6, electrostatic precipitators of the ESG2X4 type with high-voltage converter units of the ADOR POWERTRON type are installed. Electrostatic precipitators provide deep purification of gases (purification degree 98%) and almost completely trap particles with a size of 0.01 mm or more. To clean flue gases, ring emulsifiers are installed at boiler units TP-81 No. 1-4 [4].

The system of hydraulic ash removal includes: channel GZU, flushing nozzles through the channels GZU, slag baths – 4 pcs. per boiler, screw conveyor – 4 pcs. per boiler, single-roll crushers – 4 pcs. per boiler, irrigation water pumps - 6 pcs. per workshop, flush water pumps – 4 pcs. per workshop, smoke exhausters – 2 pcs. for the boiler, ash-flushing devices (hydraulic locks) with nozzles – 4 pcs. for boilers TP 81 No. 1–4, 12 pieces for TP-81 No. 5,6 for the ash collection unit [5].

Dry ash removal systems use: manual, mechanical and pneumatic methods.

Results and discussion

Pneumatic dry ash removal finds its application in cases where separate removal of slag and ash is required, which can be used as raw materials in the cement industry, production of building materials and agriculture.

The pneumatic ash removal system uses air as the driving force. The slag entering this system requires crushing and grinding to certain sizes. For this, crushing plants are installed under the bunkers. The temperature of the slag for crushing should not exceed 600 °C.

Pneumatic systems can be vacuum, pressure and combined.

The vacuum system is used in case of a short distance to the receiving hopper or consumer. At the end of the pneumatic system, a vacuum pump or ejector is installed, which creates a vacuum in the pipeline. Ash and slag enter the pneumatic pipeline, are picked up by air and sent to the cyclone for purification and further transportation. The vacuum system is characterized by tightness and compactness of the equipment and ease of operation.

The pressure system is used to transport the removed slag and ash over a distance of up to 1000 meters. Dry ash removal is carried out using compressed

air. To create the necessary pressure, compressors, fans or pumps are installed at the beginning of the system.

The combined system makes it possible to transport slag and ash waste over a considerable distance (more than 1 km). Dry ash removal of this type consists of two or more pressure and vacuum systems connected in parallel.

The pneumatic ash removal system can be suction, discharge and combined. When using a suction system, slag and ash are transported under vacuum, which is created by a vacuum pump or steam ejector, in a stream of sucked air. For the pressurized system for transporting slag and ash, a compressed air flow supplied from a compressor is used. Combined systems combine the principles of transporting a suction and discharge system. At the same time, slag and ash are taken according to the suction system scheme, and transported to the consumer (for example, to a building materials plant) - according to the discharge system scheme.

For pneumatic transport of slag and ash from steam or hot water boilers, it is recommended to use a suction system. In this case, the distance to the unloading station should not exceed 200m. The operating mode of the pneumatic ash removal system should be periodic, lasting no more than 4 hours per shift.

Schematic diagram of pneumatic ash and slag removal, performed on a suction system. With such a system, the entire route of the ash pipelines is under vacuum. This ensures the absence of dusting along the entire slag and ash transportation path. The slag is preliminarily prepared and crushed to a size of about 20 mm in two-roll or three-roll crushers. Transportation of crushed slag and ash is carried out in dry form, while selection into the system is made only from one point. For the complete removal of slag and ash, all intake devices connected to the pneumatic system are switched on in turn.

The main elements of the pneumatic slag ash removal system are slag crushers, ash receiving devices, ash pipelines, a vacuum plant and an ash settling station. At the same time, the ash settling station consists of a settling chamber, two series-connected centrifugal cyclones and a bunker for collecting slag and ash.

The slag after opening the shutter enters through the crusher into the horizontal suction nozzle. At the same time, due to rarefaction in the system, atmospheric air is sucked into the nozzle 4, which picks up slag from the nozzle and transports it through the pipeline to the settling chamber. Purified from suspended particles in the settling chamber and two cyclops connected in series, the air is ejected by the ejector into the chimney or through a special pipe into the atmosphere. Instead of an ejector, a vacuum pump can be used.

After removing the slag from the hopper, the nozzle is disconnected from the pipeline by turning the handle of the cork valve. The fly ash caught in the ash catcher or the ash accumulating in the flue is sucked into the ash pipeline through a telescopic nozzle.

The release of slag and ash from the settling chamber is carried out after opening the butterfly valve (not shown in the figure) through the flasher valve. Before the release of slag and ash in the system, the vacuum is removed. The release of fine ash from the cyclones is carried out after the vacuum is removed by opening the valve [6,7].

The dry ash removal system (SZSHU) assumes that the ash from the bunkers of gas cleaning plants is poured into pneumatic chamber pumps. Then compressed air drives it to the silo through special ash pipelines.



Picture 1 – The dry ash removal system

In ash storage silos, aeration (entrainment) is carried out periodically to prevent the occurrence (overcompacting) of ash, as well as during its unloading. Only 20–25 % of the silo bottom area is laid with aerating tiles; supply air pressure should be 2–3 atm at a flow rate of 0.25 m³/min per 1 m² of aerating surface.



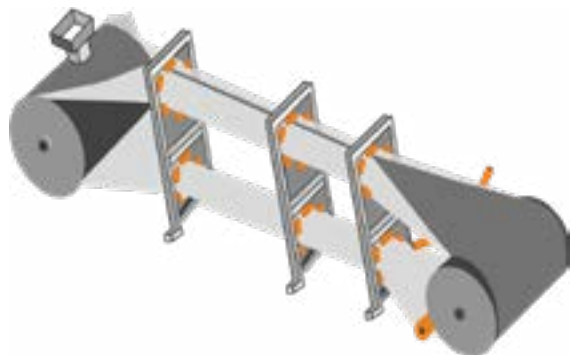
Picture 2 – Silo bottom aeration system

Each silo has three unloading lines: dry unloading to road transport, wet unloading to road transport, ash supply to the circulation station. Equipment for dry

loading (unloading) of ash is an aspiration sleeve. The suction sleeve is a telescopic two-channel coaxial design. When loading, bulk material enters the container to be filled through the inner cavity of the sleeve, and the dust that occurs at the outlet of the sleeve is sucked into the outer cavity and transported by an individual fan back to the silo, ensuring the complete absence of dust when unloading the material. It is also possible to use suction arms with their own filter bag [8,9].

The silo warehouse consists of two cylindrical tanks with a height of 70 m and a volume of 20,000 m³. The design is a bit like an elevator, only instead of grain, a by-product of burning coal is collected inside. Despite the impressive size of the silos, it is enough for the station to work a little more than two days in a row to fill them.

Part of the ash from the silos is shipped for sale, because it is not just a waste, but also a valuable raw material used in industry and agriculture. Today, ash can be simultaneously loaded into four tank trucks and six rail cars. The unclaimed volume is sent to the pipe belt conveyor, along which it moves to the place of permanent storage (ash dumps).



Picture 3 – Pipe belt conveyor

Pipe belt conveyor is a unique engineering structure. Its length is 4.5 km. First, the ash is poured onto a rubber band, in the course of movement, the rollers twist this tape into a pipe. This ensures the transport of ash in a closed form.

The pipe belt conveyor ends with a spreader, which lays the ash in even layers. The layers are compacted by bulldozers and rollers. To prevent dusting, the dump is irrigated. After filling the dump, loamy soil is applied to its surface and grass is sown, and sowing and watering are automated.

Pneumatic chamber pump (PKN) is designed for transportation of bulk powder materials through pipelines using compressed air.

Due to the use of original design solutions and optimization of the operating modes of the pump, the reduction in compressed air consumption during the transportation of bulk materials in conventional pneumatic transport systems reaches up to 35 %. The temperature of the transported material of the PKN-20 pump is 150 °C, which is less than the temperature of the ash, and therefore the temperature of the ash will decrease in the air slides.

It is proposed to install a dry method for cleaning slag behind boilers 5 and 6 using existing electrostatic precipitators.

The flow rate of the resulting ash in one boiler is 6 t/h.

Based on the selection of pneumatic transport, 2 pneumatic chamber pumps PKN – 20 series of the POSEIDON [10] will be installed behind one boiler with a capacity of 20 m³ / h.



Picture 3.2 –Pneumatic chamber pumps PKN – 20 series of the POSEIDON

Pneumatic transport will be located in the Pump Room No. 1, which is mounted at the permanent end of the boiler shop. Compressed air will be supplied from the compressors of the steam power plant located on the territory of JSC «ArcelorMittal Temirtau». The cost of upgrading the ash removal system is more than 25 million tenge.

Conclusions

The article considered a comprehensive solution for the removal of ash and slag at the station. The change of the hydraulic ash and slag removal system to dry ash and slag removal is considered. This will achieve the following effects:

1) The implementation of the project for the construction of a system for dry ash removal and storage of ash and slag waste at a dry landfill according to

a high-load scheme will provide the station with storage for storage for a period of up to 40 years.

2) The harmful impact on the environment will be minimized by reducing the pollution of groundwater with pulp.

3) Reducing the area of ash dumps.

4) Reduction of water consumption by the station.

5) Reducing the level of electricity consumption at the station.

6) Possibility of using common types of steel in piping systems.

7) Reducing the cost of equipment maintenance.

Since the proportion of combustibles in the slag is very high, it is therefore possible to consider the option of returning the slag to the combustion chamber of the boiler. In this case, the following results can be achieved:

1) Optimization of costs associated with the removal of slag by road, its storage and reclamation on the territory of the ash dump.

2) Improvement of the existing slag removal scheme with an increase in the level of mechanization and automation of this process.

3) Increasing the level of the sanitary and hygienic condition of the premises of the working area of the slag removal site.

The project is self-sustaining, the payback period is 6 years and 6 months.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Бирюков, В. В., Метелев, С. Е., Сиротюк, В. В., Шевцов, В. Р.** Эффективные направления крупномасштабного использования золошлаковых отходов // Сибирский торговоэкономический журнал, 2008. – №7 – С.92

2 Производственно-техническая инструкция по Эксплуатации К/А ТП-81 Е-420/140 ТЭЦ-2 ПТИ 102-77-11.

3 Производственно-техническая инструкция по эксплуатации кольцевых эмульгаторов ТЭЦ-2 ПТИ

4 **Sarbu, I., Sebarchievici, C. A.** Comprehensive Review of Thermal Energy Storage // Sustainability. – 2018. – № 10. – P. 191.

5 **Oro, E., Gracia, A. D., Castell, A., Farid, M. M., Cabeza, L. F.** (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications // Applied Energy. – 2012. – № 99. – P. 513–533

6 **Andreeva, N. G.** Problems of utilization of ash and slag wastes of thermal power plants and possible solutions // Polzunovskiy Bulletin, 2011. – №4-2 – 164–166 p.

7 **Bloom, B.C.** et al. Taxonomy of Educational Objectives : The David McKay Co Classificational of Educational Goals. Handbook J; Cognitive Domain N. Y. :David McKay Co.1956.– P.187–215.

8 **Zvereva, E. R., Farahov, T. M.** Energoresursosberegayushie tehnologii i apparaty TES pri rabote na mazutah [Energy-saving technologies and thermal power plants when working on fuel oil]. – М. : «Teplotehnik», 2012. – 181 p.

9 **Smirnov, A. D., Antipov, K. M.** Spravochnaia knijka energetika [Reference book Energetika]. – 4-e izd., pererab. jáne qosymsha. – М. : Energoatomizdat, 1984. – 440 p.

10 **Vashkoves, V.V., Tepláshin, M. V** Balğa diirmenderin (BMM) qalpyna keltirýdiń tehnologialyq prosesterin ázirleý elektro-shlakoaoon balqytý (ASHI) [Development of technical processes for the restoration of hammer mill billets (BMM) by electro-slag surfacing (ESH)] // Polzýnov-sknı álmanah. – 2008. – № 3. – 37–39 p.

REFERENCES

1 **Birukov, V. V., Metelev, S.E., Sitoruk, V. V., Shevtsov, V. P.** Effective directions of large-scale use of ash and slag wastes // Siberian Trade and Economic Journal, 2008. – №7 – 92 p.

2 Production and technical instruction for operation BA of TP-81 E-420/140 of CHPP-2 PТИ 102-77-11.

3 Production and technical instructions for the operation of ring emulsifiers CHPP-2 PТИ.

4 **Sarbu, I., Sebarchievici, C. A** Comprehensive Review of Thermal Energy Storage // Sustainability. – 2018. – № 10. – P. 191.

5 **Oro, E., Gracia, A. D., Castell, A., Farid, M. M., Cabeza, L. F.** (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications // Applied Energy. – 2012. – № 99. – P. 513–533

6 **Andreeva, N. G.** Problems of utilization of ash and slag wastes of thermal power plants and possible solutions // Polzunovskiy Bulletin, 2011. – №4-2 – 164–166 p.

7 **Bloom, B. C.** et al. Taxonomy of Educational Objectives: The David McKay Co Classificational of Educational Goals. Handbook J; Cognitive Domain N.Y. :David McKay Co.1956. – P.187–215.

8 **Zvereva, E. R., Farahov, T. M.** Energoresursosberegayushie tehnologii i apparaty TES pri rabote na mazutah [Energy-saving technologies and thermal power plants when working on fuel oil]. – М. : «Teplotehnik», 2012. – 181 p.

9 **Smirnov, A. D., Antipov, K. M.** Spravochnaia knijka energetika [Reference book Energetika]. – 4-e izd., pererab. jáne qosymsha. – М. : Energoatomizdat, 1984. – 440 p.

10 **Vashkoves, V. V., Tepláshin, M. V** Balğa diirmenderin (BMM) qalpyna keltirýdiń tehnologialyq prosesterin ázirleý elektro-shlakoaoon balqytý (ASHI)

[Development of technical processes for the restoration of hammer mill billets (BMM) by electro-slag surfacing (ESH)] // Polz'ynov-sknı álmanah. – 2008. – № 3. – 37–39 p.

Material received on 15.09.22.

*Г. Г. Жабалова¹, О. Н. Онищенко², С. Н. Камарова³, О. Н. Леликова⁴

^{1,2,3,4}Қарағандық индустриальдық университет,

Республика Қазақстан, г. Теміртау

Материал постуыл 15.09.22.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЭЦ-2 АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ»

В данной статье рассмотрена модернизация системы золошлакоудаления на ТЭЦ-2 АО «АрселорМиттал Темиртау», переход с мокрого способа очистки золы и шлака на более технологичный сухой. Многолетнее применение системы гидрозолошлакоудаления (ГЗШУ) привело к тому, что скопилось огромное количество золы, которая в последствии не используется. Рассмотрена комплексная замена оборудования мокрого способа очистки на сухое. Мокрый способ предлагает гашение водой (при это теряется до 1% теплового КПД котельного агрегата ТП-81) с последующим применением багерных насосов и уноса золошлаков по каналам гидрозолоудаления на золоотвал. В дальнейшем использовать эту золу нельзя. При сухом золошлакоудалении гашение водой не используется, а применяется пневматическая система удаления продуктов горения. Зола из газоочистных установок через систему пневмокамерных насосов и промежуточных бункеров подаётся по золопроводам на силосный склад. Применение данной технологии позволяет минимизировано вредное воздействие на окружающую среду, путем снижения загрязнения подземных вод пульпой, уменьшить площади золоотвалов, уменьшить потребление воды станцией, использовать обычные виды стали в трубопроводных системах, уменьшить стоимость технического обслуживания оборудования.

Ключевые слова: котел, шлак, золошлакоудаление, пылеприготовление, гидрозолоудаление, топливо, уголь, зола.

*Г. Г. Жабалова¹, О. Н. Онищенко², С. Н. Камарова³, О. Н. Леликова⁴

^{1,2,3,4}Қарағандық индустриальдық университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

Материал баспаға 15.09.22 түсті.

КҮЛ-ҚОЖ ШЫҒАРУ ЖҮЙЕСІН ҚАЙТА ЖАҢАРТУ «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ» АҚ 2-ЖЭО ЖАҒДАЙЫНДА

Бұл мақалада «АрселорМиттал Темиртау» АҚ 2-ЖЭО-да күл-қожды жою жүйесін жаңғырту, күл мен қожды тазартудың дымқыл тәсілінен негүрлым технологиялық құрғақ тәсілге көшу қарастырылды. Көп жылдар бойы гидрокүл-қожды шығару жүйесінде (ГКҚШ) қолдану нәтижесінде көп мөлшерде күлдің жиналуына әкелді, ол кейіннен пайдаланылмайды. Дымқыл тазарту әдісін құрғақ тәсілмен кешенді ауыстыру қарастырылған. Сулы әдіс сумен сөндіруді ұсынады (бұл жағдайда ТП-81 қазандық агрегатының жылу тиімділігінің 1 %-ке дейін жоғалады), содан кейін багерлік сорғыларды қолдану және күл үйіндісіне гидрокүл жою арналары бойынша күл-қожды шығару. Болашақта бұл күлді пайдалану мүмкін емес. Құрғақ күл-қожды жою кезінде сумен сөндіру пайдаланылмайды, ал жану өнімдерін жоюдың пневматикалық жүйесі қолданылады. Гогенје. Газ тазарту қондырғыларынан күл пневмокамералық сорғылар мен аралық бункерлер жүйесі арқылы күл құбырлары арқылы сүрлем қоймасына беріледі. Бұл технологияны қолдану әсер асты суларының пульпамен ластануын азайту, күл үйінділерінің ауданын азайту, станцияның су тұтынуын азайту, құбыр жүйелерінде Болаттың әдеттегі түрлерін пайдалану, жабдыққа техникалық қызмет көрсету құнын азайту арқылы қоршаған ортаға зиянды әсерді азайтуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: қазандық, қож, күл-қожды шығару, шаң дайындау, гидросол шығару, отын, көмір, күл

<https://doi.org/10.48081/RKWX7770>

***A. Zhakupov¹, A. Zhakupova², A. Bogomolov³**

^{1,2,3}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

DEPENDENCE OF ELECTROMAGNETIC PARAMETERS OF PRODUCTS FROM STEEL 09G2S ON THEIR MECHANICAL PROPERTIES

This work presents a method for a non-destructive method for determining the tensile strength, yield strength and relative elongation of steel products by identifying the relationship between mechanical and electromagnetic properties. Coercive force, maximum magnetic permeability and residual magnetic induction were chosen as electromagnetic properties, as the most structurally sensitive parameters to the composition and heat treatment of products. The difference of the work carried out is the use of several physical characteristics simultaneously as control parameters, since multi-parameter control methods provide higher information content and reliability of assessing the state of materials.

The result of the research is a method for determining the relationship between mechanical and electromagnetic parameters. At the same time, the deviation of the values obtained by this method and the actual values during the tensile test does not exceed 5 %.

The proposed method for determining the values of mechanical properties can be used for any steel product and its grade, having previously established, for the corresponding composition of the material, the relationship between mechanical and electromagnetic properties.

Keywords: coercive force, tensile strength, non-destructive testing, mathematical model, mechanical properties of steel.

Introduction

Currently, uniaxial tension on a tensile testing machine is used to determine the mechanical properties of steel products. The result of the test is a tensile diagram, according to the graph of which the tensile strength, yield strength and relative elongation are determined. In accordance with many standards used in manufacturing plants, the determination of these mechanical characteristics is mandatory. For example, for seamless pipes according to GOST 632-80 «Casing

pipes and couplings for them», the normalized indicators are tensile strength, yield strength and relative elongation. Mechanical tensile testing is accurate, but inspection requires cutting a «template» and then making a standard test piece. In this regard, further exploitation of the product is impossible, or if this product is long, then metal is consumed. In addition, due to the fact that the tensile test is destructive, the control of products is carried out by sampling (one of any quantity – a batch), which does not ensure the control of each unit of the product.

The use of a non-destructive method for determining mechanical properties is promising. One of these methods is electromagnetic. Electromagnetic control methods have been widely used in industry for a long time. However, their applicability is confirmed only in the control of discontinuities in the metal, and only hardness is quantified – through the measurement of the coercive force, which has a high error.

Further development of the electromagnetic method control is predicted in two directions. The first is the search for new control parameters, the development of new methods and measuring transducers that make it possible to measure the physical characteristics that are control parameters. The second direction, which significantly expands the range of non-destructive testing physical methods application, is the use of several physical characteristics simultaneously as control parameters.

Materials and methods of research

The beginning of the experiment was to conduct heat treatment of steel samples of grade 09G2S. The heat treatment regime is high-temperature heating at 900 °C and hardening followed by tempering in the temperature range from 350 to 700 °C. Samples sized 10×10×100 mm were heated in an electric furnace SNOL 6.7/1300. Subsequent cooling was carried out by lowering the samples into water with a water temperature of 20 °C.

After the heat treatment of the samples, namely, quenching followed by tempering, using a coercimeter and a teslameter, the maximum values of magnetization and tension, as well as the coercive force and residual magnetic induction, were measured, the values of which are indicated in the diagrams of Figure 1.

Having determined the maximum values of the tension and magnetization of the samples, the maximum magnetic permeability of each sample was calculated using formula (1), the values of which are summarized in Table 1.

$$\mu_{\max} = B_{\max} / H_{\max}, \quad (1)$$

where B_{\max} – maximum magnetic field strength of the sample, T;
 H_{\max} – maximum value of sample magnetization, A/m.

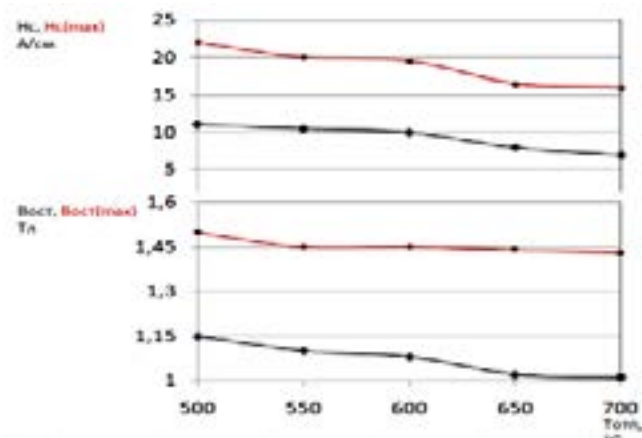


Figure 1 – Magnetic properties of a sample of steel 09G2S

The values of the coercive force corresponded to the values of the magnetization at zero magnetic field strength, and the values of the magnetic induction, on the contrary, corresponded to the magnitude of the strength at zero magnetization.

Table 1 – Values of the steel samples maximum magnetic permeability

Maximum magnetic permeability	Temperature of tempering, °C							
	350	400	450	500	550	600	650	700
	221,3	111,3	166,1	73,7	72,2	73,5	81,6	108,0

After the magnetic characteristics were measured, the actual mechanical characteristics were measured on a tensile testing machine according to GOST 1497-84, the results of which are summarized in Table 2. In this case, the tempering temperature in the range from 350 to 700 °C was the variable parameter of the heat treatment.

Table 2 – Values of the tested samples mechanical properties

Temperature of tempering, °C	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Relative elongation, %
350	880	685	10
400	845	643	10
450	801	612	11
500	782	587	12
550	763	564	12
600	745	547	13
650	728	530	14
700	711	519	15

Results and discussion

Having determined the values of the samples magnetic properties, we compiled an experiment planning matrix for steel 09G2S, and summarized the data in Table 3.

Table 3 – Matrix on a standardized scale for steel 09G2S

Experience number	(x_1)	(x_2)	(x_3)	(Y_1)	(Y_2)	(Y_3)
1	-1	-1	-1	880	685	10
2	1	-1	-1	845	643	10
3	-1	1	-1	801	612	11
4	1	1	-1	782	587	12
5	-1	-1	1	763	564	12
6	1	-1	1	745	547	13
7	-1	1	1	728	530	14
8	1	1	1	711	519	15

Using regression analysis in Excel, we derive a mathematical model for controlling mechanical properties by a non-destructive method for steel 09G2S.

To determine the tensile strength, the equation takes the form:

$$Y_1 = 781,875 - 11,125x_1 - 26,375x_2 + 45,125x_3$$

To determine the yield strength:

$$Y_2 = 585,875 - 11,875x_1 - 23,875x_2 + 45,875x_3$$

To determine elongation:

$$Y_3 = 12,125 + 0,375x_1 + 0,875x_2 - 1,375x_3$$

In order to confirm the reliability of the proposed method for determining the mechanical properties, pipes made of steel 09G2S were taken for testing. Table 4 shows the results of applying the proposed method. Having determined the equations of dependencies, these pipes were thermally processed according to a randomly selected mode, for example, a tempering temperature of 620 °C was taken.

Further, the electromagnetic parameters were measured on each released product. By substituting the average of the three values for each of the parameters into the dependency equations available for this steel, we determined the calculated values. After that, from each product, standard samples were made for tensile testing in accordance with GOST 1497-84 and the actual values of mechanical properties were obtained.

Table 4 – Measurement results and regression equations

Temperature of tempering, °C	Value	H_c , A/cm	μ_{max}	B, T
500	= 819 МПа	12,4	580	1,05
	=745 МПа			
	=11,5			
550	= 771 МПа	11,7	596	1,01
	=698 МПа			
	=12,8			
600	= 739 МПа	10,8	612	0,96
	=545 МПа			
	=13,8			
650	= 688 МПа	10,3	641	0,77
	=525 МПа			
	=14,8			
700	= 650 МПа	10,1	652	0,53
	=480 МПа			
	=15,8			

Table 5 shows the data calculated according to the equations of dependences, and the actual values of mechanical properties, determined by tension of standard samples, which confirm the reliability and accuracy of the proposed method for determining mechanical properties.

Table 5 – Convergence of results

Mechanical properties of products at a tempering temperature of 620 °C			
Calculated (according to regression equations)		Actual (from tensile tests)	
$\sigma_{p,}$, МПа	715	$\sigma_{p,}$, МПа	731
$\sigma_{0,2}$, МПа	668	$\sigma_{0,2}$, МПа	693
δ , %	16,2	δ , %	16,5

The measurement error is 1.8–3.6 %, that is, less than 4 %, which is quite accurate.

Acknowledgements

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP13268736 – Non-destructive method for determining the mechanical properties of steel products)

Conclusions

Of the many testing methods used to determine the mechanical properties of steel products, as well as excluding the influence of the size and shape of the tested products, non-destructive electromagnetic testing is promising. The most sensitive parameters are coercive force, residual magnetic induction and maximum magnetic permeability. The use of three magnetic parameters in combination in the control of steel products contributes to an increase in the reliability and accuracy of measurements, which is confirmed by an accuracy of 96.4%.

The use of a new method for determining the mechanical properties of steel products will reduce the time of testing, due to the absence of the need to select “templates” and prepare samples for testing, eliminate the use of bulky test equipment used for destructive testing methods with small-sized devices, and also make it possible to further use the controlled product.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Богомолов, А. В.** Организация контроля качества насосно-компрессорных и обсадных бесшовных труб в Казахстане / А. В. Богомолов, А. Н. Жакупов, Р. В. Сапинов // Международный журнал по неразрушающему контролю «Территория NTD». – М.: – №2, 2013.

2 **Жакупов, А. Н.** Способ электромагнитного контроля качества термической обработки изделия / Патент РК на изобретение №33106. Бюл. № 35 от 17.09.2018.

3 **Михеев, М. Н.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М.: Наука, 1993. – 250 с.

4 **Fiorillo, F.** Characterization and Measurement of Magnetic Materials / F. Fiorillo. – USA: Academic Press, 2004. – 666 p.

5 **Щербинин, В. Е.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 266 с.

6 **Михеев, М. Н.** Магнитный структурный анализ / М.Н. Михеев // Дефектоскопия. – 1983. – № 1. – С. 3–12.

7 **Perevertov, O.** Detection of spring steel surface decarburization by magnetic hysteresis measurements / O. Perevertov, O. Stupakov, I. Tomáš, B. Skrbek // NDT&E International, – 2011. – V. 44. – P. 490–494.

8 **Kikuchi, H.** Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe / H. Kikuchi, H. Murakami, K. Ara // NDT&E International – 2012. – V. 46. - P. 1–6.

9 **Buschow, K. H. J.** Physics of Magnetism and Magnetic Materials /

K. H. J. Buschow, F. R. de Boer. – USA : Springer US, 2004. – 182 p.

10 **Langman, R.** Magnetic properties of mild steel under conditions of biaxial stress / R. Langman // IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS – 1990. – V. 26. – № 4. – P. 1246 – 1251.

REFERENCES

1. **Bogomolov, A. V.** Organizaciya kontrolya kachestva nasosno-kompressornyh i obsadnyh besshovnyh trub v Kazahstane [Organization of tubing and casing seamless pipes quality control in Kazakhstan] / A. V. Bogomolov, A. N. ZHakupov, R. V. Sapinov // International Journal of Non-Destructive Testing «NTD Territory». – Moscow. 2013.– No.2.

Zhakupov, A. N. Sposob elektromagnitnogo kontrolya kachestva termicheskoy obrabotki izdeliya [The method of electromagnetic quality control of the heat treatment of the product] // Patent of the Republic of Kazakhstan for the invention No. 33106. Bull. No. 35 dated 09/17/2018.

3. **Miheev, M. N.** Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushchego kontrolya [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing] / M. N. Miheev, E. S. Gorkunov. – M. : Nauka, 1993. – 250 p.

4 **Fiorillo, F.** Characterization and Measurement of Magnetic Materials / F. Fiorillo. – USA: Academic Press, 2004. – 666 p.

5 **Shcherbinin, V. E.** Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushchego kontrolya [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing] / V. E. Shcherbinin, E. S. Gorkunov. – Ekaterinburg : Izd-vo UrO RAN, 1996. – 266 p.

6 **Miheev, M. N.** Magnitnyj strukturnyj analiz [Magnetic structural analysis] / M.N. Miheev // Defektoskopiya. – 1983. – № 1. – P. 3–12.

7 **Perevertov, O.** Detection of spring steel surface decarburization by magnetic hysteresis measurements / O. Perevertov, O. Stupakov, I. Tomáš, B. Skrbek // NDT&E International – 2011. – V. 44. – P. 490–494.

8. **Kikuchi, H.** Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe / H. Kikuchi, H. Murakami, K. Ara // NDT&E International – 2012. – V. 46. – P. 1–6.

9. **Buschow, K. H. J.** Physics of Magnetism and Magnetic Materials / K. H. J. Buschow, F. R. de Boer. – USA : Springer US, 2004. – 182 p.

10. **Langman, R.** Magnetic properties of mild steel under conditions of biaxial stress / R. Langman // IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS – 1990. – V. 26. – № 4. – P. 1246 – 1251.

Material received on 15.09.22.

**А. Н. Жақупов¹, А. Т. Жақупова², А. В. Богомолов³*

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. Материал баспаға 15.09.22 түсті.

ӨНІМДЕРДІҢ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ОЛАРДЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ

Бұл жұмыста механикалық және электромагниттік қасиеттер арасындағы тәуелділікті анықтау арқылы болат өнімдерінің беріктігін, кірістілігін және салыстырмалы ұзаруын анықтаудың бұзылмайтын әдісі келтірілген. Электромагниттік қасиеттер ретінде коэрцитивті күш, максималды магнит өткізгіштігі және қалдық магниттік индукция, өнімнің құрамы мен термиялық өңделуіне ең құрылымдық сезімтал параметрлер ретінде таңдалды. Жүргізілген жұмыстың айырмашылығы бір уақытта бірнеше физикалық сипаттамаларды бақылау параметрлері ретінде пайдалану болып табылады, өйткені бақылаудың көп параметрлі әдістері материалдардың жай-күйін бағалаудың жоғары ақпараттылығы мен сенімділігін қамтамасыз етеді.

Зерттеу нәтижесі механикалық және электромагниттік параметрлер арасындағы тәуелділікті анықтау әдісі болып табылады. Бұл ретте, осы әдіс бойынша алынған мәндердің және созылуға сынау кезінде нақты мәндердің ауытқуы 5 %- дан аспайды.

Механикалық қасиеттердің мәндерін анықтаудың ұсынылған әдісін кез-келген болат бұйымға және оның маркасына қолдануға болады, бұған дейін материалдың тиісті құрамы үшін механикалық және электромагниттік қасиеттер арасындағы байланыс орнатылады.

Кілтті сөздер: коэрцитивті күші, беріктік шегі, бұзылмайтын бақылау, математикалық модель, болаттың механикалық қасиеттері.

*А. Н. Жақупов¹, А. Т. Жақупова², А. В. Богомолов³

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ 09Г2С ОТ ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В данной работе приведена методика неразрушающего способа определения временного сопротивления, предела текучести и относительного удлинения стальных изделий посредством выявления зависимости между механическими и электромагнитными свойствами. В качестве электромагнитных свойств были выбраны коэрцитивная сила, максимальная магнитная проницаемость и остаточная магнитная индукция, как наиболее структурно-чувствительные параметры к составу и термической обработке изделий. Отличием проведенной работы является использование одновременно нескольких физических характеристик в качестве параметров контроля, так как многопараметровые методы контроля обеспечивают более высокую информативность и достоверность оценки состояния материалов.

Результатом исследования является методика определения зависимости между механическими и электромагнитными параметрами. При этом, отклонение значений, полученных по данному способу, и фактическими значениями при испытании на растяжение, не превышает 5 %.

Предлагаемый способ определения значений механических свойств может быть использован для любого стального изделия и ее марки, установив предварительно при этом, для соответствующего состава материала, зависимость между механическими и электромагнитными свойствами.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, предел прочности, неразрушающий контроль, математическая модель, механические свойства стали.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Амренова Дана Темирболатовна, PhD, қауымд. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: amrenova.dana@mail.ru

Абдрахманов Бауыржан Тендикевич, аға оқытушысы, Электротехника және автоматтандыру кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bauyrgymten@mail.ru

Акаев Айбек Мұратбекович, PhD, Атомдық және дәстүрлі энергетикалық технологиялар мектебінің деканы, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, С. Сейфуллин атындағы агротехникалық университет, Нур-Султан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akerekegansaj@mail.ru.

Атякшева Александра Владимировна, PhD, қауымд. профессор (доцент), С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sahsa77@mail.ru

Атякшева Анастасия Дмитриевна, бас сарапшы, Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nastital11@mail.ru

Байқадамова Айнұр Маратқызы, Гидрогеология және инженерлік геология мамандығы бойынша докторант, Сәтбаев университеті, Геология және мұнай-газ ісі институты, Алматы, 050000 Қазақстан Республикасы, e-mail: Ainurchuk 90@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Бузяков Рустам Равильевич, «Электр энергетика» мамандығы бойынша докторант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: r.buzyakov@gmail.com

Богомолов Алексей Витальевич, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, қауымд. профессор, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bogomolov71@mail.ru

Габдулов Асет Уралбаевич, аға оқытушысы, «Электр энергетика» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: gabdulov25@mail.ru

Дундуков Максим Максимович, өндірістік оқыту шебері, Электр энергетикасы кафедрасының Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Q30345687@yandex.z

Дубинец Наталья Александровна, аға оқытушысы, Электр энергетикасы кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dubinecsm@mail.ru

Жантлесова Әсемгүл Бейсембайқызы, PhD, аға оқытушысы, Сейфуллин атындағы, Қазақ мемлекеттік университеті, Нұр-Сұлтан қ., 10008, Қазақстан Республикасы, e-mail: acbizh@mail.ru

Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, PhD, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru

Жабалова Гульнара Газизовна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Металлургия және машина жасау» факультетінің деканы, «Энергетика» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ. 101400 Қазақстан Республикасы, e-mail: g-zhabalova@mail.ru

Жакупов Алибек Ныгматуллович, PhD, қауымд. профессор, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: alibek_j85@mail.ru

Жакупова Арай Толепбергеновна, PhD, аға оқытушысы, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aray_zhakupova86@mail.ru

Звонцов Алексей Сергеевич, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша ассистент, Энергетика және компьютерлік ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: trigal@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

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетикалық факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Исенов Сұлтанбек Сансызбайұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, энергетикалық факультетінің деканы, 010000, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы e-mail: iss_kz@bk.ru

Искаков Руслан Маратбекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор (доцент), С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің профессор м.а., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Z05M6G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru.

Калтаев Абдулла Габдылманапулы, PhD, қауымд. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdulla911@mail.ru

Кислов Александр Петрович, Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Қайдар Арғын Бауыржанұлы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің докторанты, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: argin_intel@mail.ru

Кубентаева Гүлмира Құсайынқызы, техника ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: gulmirakk@mail.ru

Қасым Руслан Тоқтасынұлы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: kasym.ruslan@mail.ru

Қулакаева Айгүл Ергалиевна, PhD, Сениор-лектор, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша докторы, «ХАТУ» АҚ, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: aigul_k.pochta@mail.ru

Қойшыбай Сұңғат, лектор, «ХАТУ» АҚ, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: sungatkoishybai@gmail.com.

Камал Руслан, лектор, «ХАТУ» АҚ, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: rus_95@mail.ru.

Кошеков Кайрат Темирбаевич, д.ғ.к профессор, Азаматтық Авиация Академиясы, «Авиациялық инженерия және әуе көлігін пайдалану» жоғары мектебі, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: kkoshekov@mail.ru,

Касенов Асылбек Жумабекович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Камарова Сауле Нуртазаевна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушысы, Энергетика» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: cfekt.rfvfhjdf@mail.ru

Кузнецова Наталья Сергеевна, Физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Томск қ., 634000, Ресей Федерациясы, e-mail: natalia_kuznetsova@tpu.ru

Рывкина Наталья Валентиновна, аға оқытушы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: rondv@mail.ru

Лукпанов Рауан Ермагамбетович, PhD, профессор, Сәулет-құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: rauan_82@mail.ru

Леликова Ольга Николаевна техника ғылымдарының кандидаты, кафедра менгерушісінің м. а, «Энергетика» кафедрасының аға оқытушысы, Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау қ. 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: olga_lelikova.67@mail.ru

Марковский Вадим Павлович, Электро энергетика кафедрасының менгерушісі, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: wadim54@mail.ru

Мукат Айтгуль Казбековна, техникалық ғылымдар магистрі, ассистент, «Электрмен жабдықтау» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: a_mukat@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: barton.kz@mail.ru.

Мирзакулова Шарафат Абдурахимовна, PhD, профессор, Радиотехника, Электроника және Телекоммуникация кафедрасы, Тұран университеті, Алматы қ, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: mirzakulova@mail.ru

Нуркимбаев Сағыныш Маратович, докторант, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nursagynysh@mail.ru

Наубетов Даулет Абатұлы, Ақпараттық жүйелер және киберқауіпсіздік кафедрасы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: daul.naubetov@gmail.com

Оңгенбаева Жадра Жумабековна, сениор-лектор, «ХАТУ», Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: zh.ongenbayeva@iitu.edu.kz

Оразова Динара Казбековна, PhD, қауым. профессор, Торайғыров университеті, Инженерия факультеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinarzhan_84@mail.ru

Оспанова Назира Нургазыевна, педагогика ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 1400016, Қазақстан Республикасы; nazira_n@mail.ru.

Оразбекова Әсем Қамбарқызы, техника ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Ока-а7@mail.ru

Омаров Ануар Серикович, «Электроэнергетика», мамандығы бойынша докторант, Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: omarovanuar91@gmail.com

Онищенко Ольга Николаевна, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Энергетика» кафедрасы, Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау қ. 101400 Қазақстан Республикасы, teacherolg@mail.ru

Потапенко Александра Олеговна, PhD, Торайғыров Университет, e-mail: alxopt@gmail.com

Риттер Екатерина Сергеевна, PhD, доцент, Инженерлік және сандық технологиялар факультеті, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kriter315@gmail.com

Самсоненко Анатолий Иванович, жетекші инженер, Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: anatolly.sam@yandex.kz

Сапенова Жанбота Казбековна, техникалық ғылымдар магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ, 140008, Қазақстан Республикасы

Савостин Алексей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Инженерлік және сандық технологиялар факультеті, Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexey.savostin@gmail.com.

Савостина Галина Владимировна, PhD, доцент, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Инженерлік және сандық технологиялар факультеті, Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: galinash85@gmail.com.

Сарсикеев Ермек Жасланұлы, PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sarsikeev.ermek@yandex.ru

Судейменова Гүлмира Оразбайқызы, техника ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulmira--84@mail.ru.

Сериков Тансауле Ғабдыманапұлы, PhD, профессор, Радиотехника, Электроника және Телекоммуникация кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Тлеуленова Гульшат Толеувна, PhD, доцент м.а., Сәулет-құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulshattleulenova23@mail.ru

Шапкенов Бауыржан Қайдарұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Торайғыров атындағы университеті, 140000, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы

Шерьязов Сәкен Қойшыбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті, 454000, Челябинск қ., Ресей Федерациясы

Шапенова Зарина Рустамовна, магистрант, органикалық заттардың химиялық технологиясы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: zoka.kz@bk.ru

Шарипова Салтанат Еркиновна, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, докторант, 2 курс, С. Сейфуллин атындағы агротехникалық университет, Нур-Султан қ., 010000; Қазақстан Республикасы, e-mail: salta_pvl@bk.ru

Шарипов Еркнат Болатович, педагогика ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы агротехникалық университеті, Нур-Султан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: erga_91@mail.ru

Шоланов Қорғанбай Сағнайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университет, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы, e-mail: sholkot@gmail.com

Шумейко Иван Алексеевич, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ivan_shumeiko@mail.ru

Юсупова Әсел Оразқызы, PhD, Торайғыров университеті, 140007 Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., e-mail: aselasp@mail.ru

Якубова Муборак Захидовна, техникалық ғылым докторы, профессор, Ақпараттық жүйелер және киберқауіпсіздік кафедрасы, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: mubor194@gmail.com

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Амренова Дана Темирболатовна, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: amrenova.dana@mail.ru

Абдрахманов Бауыржан Тендикович, старший преподаватель, кафедра «Электротехника и автоматизация», Факультет энергетика Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bauyrgymten@mail.ru

Акаев Айбек Мұратбекович, PhD, декан Школы технологий атомной и традиционной энергетика, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан; 010000, Республика Казахстан, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Атякшева Александра Владимировна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sahsa77@mail.ru

Атякшева Анастасия Дмитриевна, главный эксперт, Международный центр зеленых технологий, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: nastital11@mail.ru

Байкадамова Айнур Маратовна, докторант по специальности Гидрогеология и инженерная геология, Satbayev University, Институт геологии и нефтегазового дела, Алматы, 050000, Республика Казахстан, Ainurchuk90@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Бузяков Рустам Равильевич, докторант, специальность «Электроэнергетика», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: r.buzyakov@gmail.com

Богомоллов Алексей Витальевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: bogomolov71@mail.ru

Габдулов Асет Уральбаевич, ст. преподаватель, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: gabdulov25@mail.ru

Дундуков Максим Максимович, мастер производственного обучения, Факультет энергетика, кафедра «Электроэнергетика», Торайғыров

университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Q30345687@yandex.kz

Дубинец Наталья Александровна, ст. преподаватель, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dubinecsm@mail.ru

Жантлесова Асемгуль Бейсембаевна, PhD, ст. преподаватель, Казахский государственный университет им. С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, 010008, e-mail: acbizh@mail.ru

Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, PhD, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: ultuara@mail.ru

Жабалова Гульнара Газизовна, кандидат технических наук, профессор, Декан факультета «Металлургии и машиностроения», кафедра «Энергетика», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау 101400 Республика Казахстан, e-mail: g-zhabalova@mail.ru

Жакупов Алибек Ныгматуллович, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: alibek_j85@mail.ru

Жакупова Арай Толепбергеновна, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Машиностроения и стандартизации», Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан, e-mail: aray_zhakurova86@mail.ru

Звонцов Алексей Сергеевич преподаватель, специальность «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Факультет энергетики и компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: trival@mail.ru

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru

Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Dauren_pv12012@mail.ru

Исенов Султанбек Сансызбаевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, декан энергетического факультета, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, 010000, г. Нур-Султан, Республика Казахстан, e-mail: iss_kz@bk.ru

Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), и.о. профессора Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, Казахский агротехнический университет

имени С. Сейфуллина», г. Нур-Султан, Республика Казахстан, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

Калтаев Абдулла Габдылманапулы, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: abdulla911@mail.ru

Кислов Александр Петрович, кандидат технических наук, профессор, Факультет, Энергетики и компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: kislovpsu@mail.ru

Кайдар Аргын Бауыржанулы, докторант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: argin_intel@mail.ru

Кубентаева Гульмира Кусаиновна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан, Z05M6G3, e-mail: gulmirakk@mail.ru

Касым Руслан Тоқтасынұлы, ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан, Z05M6G3, e-mail: kasym.ruslan@mail.ru

Қулакаева Айгуль Ергалиевна, PhD, сениор-лектор, специальность «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», «МУИТ», г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: aigul_k.pochta@mail.ru

Қойшыбай Сұңғат, лектор, АО «МУИТ», г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, sungatkoishybai@gmail.com,

Камал Руслан, лектор, «МУИТ», г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: rus_95@mail.ru

Кошкеков Кайрат Темирбаевич, доктор технических .д.т.к., профессор, Академия Гражданской Авиации, Высшая школа «Авиационная инженерия и эксплуатация воздушного транспорта», г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: kkoshekov@mail.ru.

Касенов Асылбек Жумабекович, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Камарова Сауле Нуртазаевна, ст. преподаватель, магистр технических наук, кафедра «Энергетика», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан

Кузнецова Наталья Сергеевна, Кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация, 634000, e-mail: natalia_kuznetsova@tpu.ru

Рывкина Наталья Валентиновна, ст. преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: rondv@mail.ru,

Лукпанов Рауан Ермагамбетович, PhD, профессор, Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Нур–Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: rauan_82@mail.ru.

Леликова Ольга Николаевна, магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры, и.о. заведующего кафедра «Энергетика» Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, e-mail: olga_lelikova.67@mail.ru

Марковский Вадим Павлович, заведующий кафедрой Электроэнергетика, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: wadim54@mail.ru

Мукат Айтгуль Казбековна, Магистр технических наук, ассистент кафедры «Электроснабжения», Казахский Агро технический университет имени С.Сейфуллина, г. Нур–Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: a_mukat@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур–Султан, 010011, Республика Казахстан, e-mail: barton.kz@mail.ru

Мирзакулова Шарафат Абдурахимовна, PhD, профессор, кафедра «Радиотехники, электроники и телекоммуникаций», Университет Туран,, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: mirzakulova@mail.ru

Нуркимбаев Сағыныш Маратович, докторант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: nursagynysh@mail.ru

Наубетов Даулет Абатұлы, кафедра «Информационных систем и кибербезопасности», Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: daul.naubetov@gmail.com

Онгенбаева Жадыра Жумабековна, сениор-лектор, «МУИТ», г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: zh.ongenbayeva@iitu.edu.kz, 87072602601

Оразова Динара Казбековна, PhD, ассоц. профессор, Факультет Инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dinarzhan_84@mail.ru

Оспанова Назира Нургазыевна, кандидат педагогических наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 1400016, Республика Казахстан; e-mail: nazira_n@mail.ru;

Оразбекова Асем Камбаровна, магистр технических наук, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Ока-а7@mail.ru

Омаров Ануар Серикович, докторант, специальность «Электроэнергетика», Факультет энергетики, автоматизи и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», г. Караганда 100012, Республика Казахстан, e-mail: omarovanuar91@gmail.com

Онищенко Ольга Николаевна, магистр технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Энергетика», Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау 101400 Республика Казахстан, e-mail: teacherolg@mail.ru

Потапенко Александра Олеговна, PhD, Торайғыров университет, e-mail: alxopt@gmail.com

Риттер Екатерина Сергеевна, PhD, доцент, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан, e-mail: kriter315@gmail.com,

Самсоненко Анатолий Иванович, ведущий инженер, Институт космической техники и технологий, г. Алматы, 050061, Республика Казахстан, e-mail: anatolly.sam@yandex.kz

Сапеннова Жанбота Казбековна, магистр технических наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

Савостин Алексей Александрович, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан, e-mail: alexey.savostin@gmail.com

Савостина Галина Владимировна, PhD, доцент, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан, e-mail: galinash85@gmail.com,

Сарсикеев Ермек Жасланович, PhD, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sarsikejev.ermek@yandex.ru

Сулейменова Гульмира Оразбаевна, магистр технических наук, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: gulmira--84@mail.ru

Сериков Тансауле Ғабдыманапұлы, PhD, профессор, кафедра «Радиотехники, электроники и телекоммуникаций», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Тлеуленова Гульшат Толеувна, PhD, и.о.доцента, Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: gulshattleulnova23@mail.ru

Шапкенов Бауыржан Кайдарович, кандидат технических наук, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Шерьязов Сакен Койшыбаевич, доктор технических наук, профессор Южно-Уральского государственного аграрного университета, г. Челябинск, 454000, Российская Федерация

Шапенова Зарина Рустамовна, магистрант, специальность «Химическая технология органических веществ», Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: zoka.kz@bk.ru

Шарипова Салтанат Еркиновна, докторант, 2 курс, магистр естественных наук, Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000; Республика Казахстан, e-mail: salta_pvl@bk.ru;

Шарипов Еркнат Болатович, магистр педагогических наук; Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан; 010000, Республика Казахстан, e-mail: erga_91@mail.ru

Шоланов Корганбай Сагнаевич, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетики, автоматизации и телекоммуникации, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан, e-mail: sholkog@gmail.com

Шумейко Иван Алексеевич, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ivan_shumeiko@mail.ru

Юсупова Асель Оразовна, PhD Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aselasp@mail.ru

Якубова Муборак Захидовна, доктор технических наук, профессор, кафедра «Информационных систем и кибербезопасности», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: mubor194@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Amrenova Dana Temirbolatovna, PhD, associate professor, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: amrenova.dana@mail.ru

Abdrakhmanov Baurzhan Tendikovich, Senior lecturer of the Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bauyrymten@mail.ru

Akaev Aibek Muratbekovich, PhD, Dean of the School of Nuclear and Traditional Energy Technologies of the East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayeva, Non-commercial joint stock company Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Akanova Akerke Saparovna, PhD, Kazakh Agrarian University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Atyaksheva Alexandra Vladimirovna, PhD, associate professor, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sahsa77@mail.ru

Atyaksheva Anastasiya Dmitrievna, Chief expert, International green technologies and investment projects center, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nastita111@mail.ru

Baikadamova Ainur Maratovna, doctoral student in the specialty Hydrogeology and engineering geology, Satbayev University, Institute of Geology and Oil and Gas Business, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, Ainurchuk90@mail.ru

Barukin Aleksandr Sergeevich, doctor PhD, associate professor, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Buzyakov Rustam Ravilevich, doctoral student in «Electric power engineering», Abylkas Saginov Karaganda technical university, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: r.buzyakov@gmail.com

Bogomolov Alexey, Professor of the Department of Metallurgy, c.t.s., Associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bogomolov71@mail.ru

Gabdulov Aset Uralbaevich, Senior lecturer of the Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: gabdulov25@mail.ru

Dundukov Maksim Maksimovich, Master of Industrial Training of the Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Q30345687@yandex.kz

Dubinets Natalya Alexandrovna, Senior lecturer of the Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dubinecsm@mail.ru

Zhantlessova Asemgul, PhD, senior lecturer, S.Seifullin Kazakh State University, the city of Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan e-mail: acbizh@mail.ru

Zhalmagambetova Ultuar, PhD, Toraigyrov University, Pavlodar, 140000 Republic of Kazakhstan, e-mail: ultuara@mail.ru

Zhabalova Gulnara Gazizovna, Ph.D., Energy Department, Dean of the Faculty of Metallurgy and Mechanical Engineering, Professor, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: g-zhabalova@mail.ru

Zhakupov Alibek, PhD, Associate Professor, Department of Metallurgy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: alibek_j_85@mail.ru

Zhakupova Aray, PhD, Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraigyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, aray_zhakupova86@mail.ru

Zvontsov Aleksey Sergeevich, lecturer (assistant), Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, Faculties of Energy and Computer Science, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: trigal@mail.ru.

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, Associate Professor, Faculty of Energy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru

Issabekova Bibigul Beisembayevna, PhD, associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru

Issabekov Dauren Dzhambulovich, PhD, Associate Professor, Faculty of Energy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Issenov Sultanbek Sansyzbaevich, candidate of technical sciences, associate professor, Dean of Energy Faculty, S.Seifullina Kazakh Agrotechnical University named after. 010000, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan, e-mail: iss_kz@bk.ru

Iskakov Ruslan Maratbekovich, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor (docent), Acting Professor, Saken Seifullin Kazakh Agro

Technical University, Nur-Sultan, Z056M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

Kaltaev Abdulla Gabdymanapuly, PhD, associate professor, Faculty of Energy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdulla911@mail.ru

Kislov Aleksandr Petrovich, Faculties of Energy and Computer Science, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kislovpsu@mail.ru

Kaidar Argyn Bauyrzhanuly, doctoral student of the S. Seifullin, Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: argin_intel@mail.ru

Kubentaeva Gulmira Kusainovna, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Lecturer, Saken Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulmirakk@mail.ru

Kasym Ruslan Toktasynuly, Senior Lecturer, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: kasym.ruslan@mail.ru

Kulakayeva Aigul Yergalievna, PhD in Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, senior lecturer, «IITU» JSC, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: aigul_k.pochta@mail.ru

Koishybay Sungat, lecturer, «IITU» JSC, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: sungatkoishybai@gmail.com,

Kamal Ruslan, lecturer, «IITU» JSC, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: rus_95@mail.ru

Koshekov Kairat, Doctor of Technical Sciences, Professor, Higher School «Aviation Engineering and Operation of Air Transport», Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Kassenov Assylbek Zhumabekovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Kamarova Saule Nurtazaevna, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer Energy Department, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: cfekt.rfvfhjdf@mail.ru

Kuznetsova Natalia Sergeevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634000, Russia, e-mail: natalia_kuznetsova@tpu.ru

Ryvkina Natalya Valentinovna, Senior lecturer, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, Russia, rondv@mail.ru

Lukpanov Rauan Ermagambetovich, PhD, Professor, Faculty Of Architecture And Construction, L. N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: rauan_82@mail.ru,

Lelikova Olga Nikolaevna Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Ag. Head of Energy Department, Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400 Republic of Kazakhstan, e-mail: olga_lelikova.67@mail.ru

Markovskiy Vadim Pavlovich, Head of the Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: wadim54@mail.ru

Mukat Aitgul Kazbekovna, Master of Technical Sciences, assistant Department of Power Supply, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a_mukat@mail.ru,

Mekhtiev Ali Dzhavanshirovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: barton.kz@mail.ru

Mirzakulova Sharafat Abdurahimovna, PhD, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, Turan University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: mirzakulova@mail.ru

Nurkimbayev Sagynysh Maratovich, doctoral student, Department of Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nursagynysh@mail.ru

Naubetov Daulet Abatuly, Department of Information Systems and Cybersecurity, Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: daul.naubetov@gmail.com,

Ongenbaeva Zhadyra Zhumabekovna, senior lecturer, «ITU» JSC, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh.ongenbayeva@iitu.edu.kz

Orazova Dinara Kazbekovna, PhD, associate professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dinarzhan_84@mail.ru

Ospanova Nazira Nurgazyevna, Candidate of Pedagogical Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 1400016, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazira_n@mail.ru

Orazbekova Asem Kambarovna, Master of Technical Sciences, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Oka-a7@mail.ru

Omarov Anuar Serikovich, PhD student in «Electric Power Engineering», Faculty of Energy, Automation and Telecommunication, A. Saginov Karaganda

Technical University, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: omarovanuar91@gmail.com

Onishchenko Olga Nikolaevna, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Energy Department, Karaganda Industrial University, Temirtau 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: teacherolg@mail.ru

Potapenko Alexandra Olegovna, PhD, Toraighyrov University, e-mail: alxopt@gmail

Ritter Ekaterina Sergeevna, PhD, Associate Professor, Faculty of Engineering and Digital technology, Manash Kozybayev North-Kazakhstan University, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kritter315@gmail.com

Samsonenko Anatoly Ivanovich, lead engineer, Institute of Space Engineering and Technology, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: anatolly.sam@yandex.kz

Sapenova Zhanbota Kazbekovna, Master, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

Savostin Alexey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Faculty of Engineering and Digital Technology, Manash Kozybayev North-Kazakhstan University, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexey.savostin@gmail.com,

Sarsikeyev Yermek Zhaslanovich, PhD, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru

Suleimenova Gulmira Orazbaevna, Master of Technical Sciences, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulmira--84@mail.ru

Serikov Tansaule Gabymanapuly, PhD, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, S.Seifullina Kazakh Agrotechnical University named after, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Teulenova Gulshat Toleuvna, PhD, Acting Associate Professor, Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulshattleulenova23@mail.ru

Shapkenov Bauyrzhan Kaidarovich, Candidate of Technical Sciences, professor Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Sheryazov Saken Koishybaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, 454000, Russian Federation

Shapenova Zarina Rustamovna, student in «Chemical technology of organic substances», Abylka Saginov Karaganda technical university, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, zoka.kz@bk.ru

Sharipova Saltanat Yerkinovna, PhD, undergraduate student; 2nd year Master of Natural Sciences, S.Seifullin Agrotechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: salta_pvl@bk.ru,

Sharipov Yerkanat Bolatovich, master of ped.sc, S. Seifullin Agrotechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: erga_91@mail.ru;

Sholanov Korganbay Sagnaevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Faculty of Energy, Automation and Telecommunication, A. Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 10000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sholkor@gmail.com

Shumeiko Ivan Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, professor, Department, Mechanical Engineering and Standardization, Faculty of metallurgy, engineering and Transport, Toraighyrov University, 140008, e-mail: ivan_shumeiko@mail.ru

Yussupova Assel Orazovna, PhD Toraighyrov University, 140007, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, e-mail: aselasp@mai.ru

Yakubova Muborak Zahidovna, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems and Cybersecurity, Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: mubor194@gmail.com

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
(«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

***В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

*** Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц** печатного текста. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) *Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество (полностью)** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*), **главного автора пометить символом (*)**;

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*формируются*

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

ссылки, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом:

автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним** представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail** (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Информация для авторов

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайғыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 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 «Торайғыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование – Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jýsan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

***С. К. Антикеева**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.
- 10 **Арын, Е. М., Пфайфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogу. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitiye metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p. c.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ КҮЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби күзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби күзіреттілігін 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 әсеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeeva

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегии статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегия Журнала.

Теруге 15.09.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3 Mb RAM

Шартты баспа табағы 19,8. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3989

Сдано в набор 15.09.2022 г. Подписано в печать 30.09.2022 г.

Электронное издание

3 Mb RAM

Усл. печ. л. 19,8. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3989

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz