

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

№ 1 (2022)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/WRIX7218>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>к.т.н., доцент (Россия)</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD, доцент</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

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

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

Говорун В. Ф., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Бурцев П. В., Аябаев А. С.	
Шағын сызықты емес тұтынушылар бар электр беру жүйелеріндегі қуат факторын түзету	9
Диханбаев А. Б., Диханбаев Б. И., Кошумбаев М. Б., Ыбрай С. Б.	
Фазалық инверсиялық реактордың пайдаланылған газдарын жасанды газға айналдыру мәселесіне	28
Достияров А. М., Садыкова С. Б., Картджанов Н. Р.	
Газтурбиналарының жану камерасындағы ағын параметрлерінің NOx эмиссиясына әсері	43
Дробинский А. В., Уразалимова Д. С., Кириченко Л. Н.	
Мобильді гидроэнергетикалық қондырғы	56
Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантілесова А. Б., Ақаев А. М.	
Бейтарап режимдердің сипаттамалық белгілері	67
Қадыржан А. Б.	
Ауа бассейніне экологиялық мониторинг жүргізу жүйесінде қолданылатын ұшқышсыз ұшу аппаратын құрастыру	78
Карманов А. Е., Арипова Н. М., Нуркина Ш. М., Приходько Е. В., Танырбергенов Н. М.	
ТКШ объектілері үшін жылу энергиясын ала отырып, жапырақты қоқысты кәдеге жарату технологиясын әзірлеу	88
Клецель М. Я., Барукин А. С., Динмуханбетова А. Ж., Әмірбек Д. Ә.	
Электр станцияларының сақиналы сұлбаларының элементтерінің сеңімділігінің электр энергиясының жеткіліксіздігіне әсері	99
Коломийцева А. В.	
Жылу энергиясын жинақтау үшін фазалық ауысуы бар заттарды пайдалану	111
Машрапов Б. Е., Мусеев Ж. Б., Талипов О. М.	
Фазалық-экрандалған ток өткізгіштің қабықшасының экрандаушы қасиеттерін анықтау	121
Новожилов А. Н., Садыкова А. К., Новожилов Т. А.	
Оқшауланған бейтарабы қосылумен желілердегі бір фазалық жерге тұйықталу токтарын жанама әдісін іс жүзінде жүзеге асыру	131
Нурсеитов Б. А.	
Matlab Simulink бағдарламасында күн радиациясының имитациялық моделі	144
Серигов Т. Г., Мирзакулова Ш. А., Хамзина Б. Е., Айсин Ж. А.	
Уақыттық қатарды қолдана отырып, желілік трафикті болжау үшін модельдеу	157
Төлебай Н. Ж., Азимбаев Ж. Р., Мерғалимова А. К., Онгар Б.	
Көмірді жағу технологиясының аз мөлшерде қоршаған ортаға әсері	167

Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В.

Құрамдастырылған жел энергетикалық қондырғыны

қолдану тиімділігін талдау.....177

Долгов М. В., Баубек А. А., Жумагулов М. Г.,**Грибков А. М., Глазырин С. А.**

Су-мазутты эмульсияны жағу мүмкіндігі мәселесіне186

Авторлар туралы ақпарат201

Авторлара арналған ережелер215

Жарияланым этикасы226

СОДЕРЖАНИЕ

Говорун В. Ф., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Бурцев П. В., Аябаев А. С.	
Коррекция коэффициента мощности в системах электроснабжения с мелкими нелинейными потребителями.....	9
Диханбаев А. Б., Диханбаев Б. И., Кошумбаев М. Б., Ыбрай С. Б.	
К вопросу преобразования отходящих газов реактора инверсии фаз в искусственный газ	28
Достияров А. М., Садыкова С. Б., Картджанов Н. Р.	
Влияние параметров потока в камере сгорания газовых турбин на эмиссию NOx. Часть 1	43
Дробинский А. В., Уразалимова Д. С., Кириченко Л. Н.	
Мобильная гидроэнергетическая установка	56
Исабеков Ж. Б., Исабекова Б. Б., Жантлесова А. Б., Акеев А. М.	
Характерные особенности режимов работы нейтрали	67
Кадыржан А. Б.	
Разработка беспилотного летательного аппарата в системе экологического мониторинга воздушного бассейна г. Алматы	78
Карманов А. Е., Арипова Н. М., Нуркина Ш. М., Приходько Е. В., Танырбергенев Н. М.	
Разработка технологии утилизации листового мусора с получением тепловой энергии для объектов ЖКХ.....	88
Клецель М. Я., Барукин А. С., Динмуханбетова А. Ж., Әмірбек Д. Ә.	
Влияние надежности элементов кольцевых схем электрических станций на недоотпуск электроэнергии	99
Коломийцева А. В.	
Использование веществ с фазовым переходом для аккумулирования тепловой энергии.....	111
Машрапов Б. Е., Мусеев Ж. Б., Талипов О. М.	
Определение экранирующих свойств оболочки пофазно-экранированного токопровода	121
Новожилов А. Н., Садыкова А. К., Новожилов Т. А.	
Практическая реализация метода косвенного измерения тока однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью.....	131
Нурсеитов Б. А.	
Имитационная модель солнечной радиации в среде Matlab Simulink.....	144
Сериков Т. Г., Мирзакулова Ш. А., Хамзина Б. Е., Айсин Ж. А.	
Моделирование для прогнозирования сетевого трафика с применением временных рядов	157
Толебай Н. Ж., Азимбаев Ж. Р., Мергалимова А. К., Онгар Б.	
Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду	167

Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В.Анализ эффективности применения комбинированной
ветроэнергетической установки.....177**Долгов М. В., Баубек А. А., Жумагулов М. Г.,****Грибков А. М., Глазырин С. А.**

К вопросу возможности сжигания водо-мазутной эмульсии186

Сведения о авторах.....201

Правила для авторов215

Публикационная этика226

CONTENT

Govorun V. F., Markovsky V. P., Shapkenov B. K., Burtsev P. V., Ayabayev A. S.	
Power factor correction in power supply systems with small non-linear consumers	9
Dikhanbaev A. B., Dikhanbaev B. I., Koshumbaev M. B., Ybray S. B.	
To the issue of converting waste gases of a reactor inversion phase into artificial gas	28
Dostiyarov A. M., Sadykova S. B., Kartjanov N. R.	
Effect of flow parameters in gas turbine combustion chamber on NOx emission	43
Drobinskiy A. V., Urazalimova D. S., Kirichenko L. N.	
Mobile hydropower plant	56
Issabekov J. B., Issabekov B. B., Zhantlessova A. B., Akaev A. M.	
Characteristic features of neutral operating modes	67
Kadyrzhana A. B.	
Development of an unmanned aerial vehicle in the air basin environmental monitoring system	78
Karmanov A. E., Aripova N. M., Nurkina Sh. M., Prikladko E. V., Tanyrbergenov N. M.	
Development of technology for the disposal of deciduous waste with the production of thermal energy for housing and communal services	88
Kletsel M. Ya., Barukin A. S., Dinmukhanbetova A. Zh., Amirbek D. A.	
Influence of reliability of elements of ring circuits of electric power stations on the under-output of electricity	99
Kolomiitseva V.	
Use of substances with phase transition for the accumulation of thermal energy	111
Mashrapov B. Ye., Musaev Zh. B., Talipov O. M.	
Determination of shielding properties of the shell of a phase-shielded current line	121
Novozhilov A. N., Sadykova A. K., Novozhilov T. A.	
Practical implementation of the method of indirect measurement of single-phase earth fault current in a network with an isolated neutral	131
Nurseitov B. A.	
Simulation modeling of solar irradiance on Matlab Simulink	144
Serikov T. G., Mirzakulova Sh. A., Khamzina B. E., Aisin Zh. A.	
Modeling for network traffic forecasting using time series	157
Tolebay N. Zh., Azimbayev Zh. R., Mergalimova A. K., Ongar B.	
Coal combustion technology with reduced environmental impact	167
Khatsevskiy V. F., Gonenko T. V.	
Analysis of combined wind power plant application efficiency	177

Dolgov M. V., Baubek A. A., Zhumagulov M. G.,

Gribkov A. M., Glazyrin S. A.

Possibility of water-oil emulsion combustion186

Information about the authors.....201

Rules for authors215

Publication ethics226

<https://doi.org/10.48081/RLUI6028>

***В. Ф. Говорун¹, В. П. Марковский², Б. К. Шапкенов³,
П. В. Бурцев⁴, А. С. Аябаев⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С МЕЛКИМИ НЕЛИНЕЙНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

В работе, на основании имитационного моделирования, предлагается алгоритм исследования резонанса тока, возникающего в системе электроснабжения при хаотичном изменении мощности нагрузки и вариации степени компенсации реактивной мощности, при наличии потребителей, имеющих нелинейную вольтамперную характеристику. Показано, что перегрузка конденсаторных батарей может возникать в широком диапазоне частот, близких к резонансной частоте. Предлагаемый алгоритм определяет все возможные частоты, на которых может произойти увеличение токов в конденсаторных батареях выше допустимых величин при параллельном резонансе. В процессе работы предприятия нагрузка по технологическим причинам (включение/отключение) или аварийным отключениям может изменяться в очень широком диапазоне при условии неизменности количества подключенных конденсаторов из-за инерционности регулятора БСК. Поэтому при исследовании резонанса тока необходимо проводить расчеты всех возможных режимов работы сети.

Определение диапазона частот, на которых будет происходить перегрузка конденсаторов, необходим для выбора способов и средств подавления высших гармоник, подбора и настройки устройств, предназначенных для снижения амплитуд токов высших гармоник в сети.

Цель предлагаемой работы: показать, в каких режимах работы системы электроснабжения предприятия может возникать перегрузка конденсаторов токами высших гармоник при изменении

мощности нагрузки и вариации степени компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: коэффициент мощности; нелинейная нагрузка; высшие гармоники; резонанс токов; батарея статических конденсаторов.

Введение

Одной из наиболее актуальных проблем современного электроснабжения является повышение качества электроэнергии, так как существенно снижается расход электроэнергии, улучшается надежность систем электроснабжения и технологический процесс производства.

На ряде предприятий малой и средней мощности имеется большое количество мелких потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой, подключенных на разные ТП-6/0,4 кВ, что вызывает проблему обеспечения качества электроэнергии на шинах высокого напряжения.

Широкое внедрение силовых электронных преобразователей в производство породило проблему их негативного влияния на качество электроэнергии. Причиной этому явился нелинейный и импульсный характер процессов преобразования электроэнергии посредством ключевых элементов, дискретно управляющих потоками электрической энергии. В результате их работы происходит искажение токов в цепях переменного тока и кроме роста активной мощности, потребляемой из сети, также возрастает реактивная мощность, обусловленная фазовым сдвигом основных гармоник тока и напряжения, и мощность искажения.

Для тиристорных преобразователей порядок высших гармоник определяется по формуле:

$$n = mk \pm 1, \quad (1)$$

где m – число фаз выпрямления; k – натуральный ряд чисел.

При 6-фазной схеме выпрямления $n = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25$, и т.д., а при 12-фазной схеме $n = 11, 13, 23, 25, 35, 37$ и т.д.

Появление в системе электроснабжения высших гармоник тока и напряжения приводит к росту потерь мощности, перегреву оборудования, старению изоляции, сбою аппаратуры и т.п. Негативному влиянию высших гармоник, как на отдельные элементы электрооборудования, так и на всю систему электроснабжения посвящено достаточно большое количество публикаций [1–8].

Компенсация реактивной мощности в настоящее время является одним из приоритетных мероприятий в разрабатываемых программах по увеличению экономической эффективности при передаче и распределении электрической мощности.

Для достижения поставленных целей в соответствии с Законом Республики Казахстан об энергосбережении и повышении энергоэффективности потребители электрической энергии с присоединенной электрической нагрузкой 630 киловольт-ампер и выше обязаны поддерживать на своих шинах нормативные значения коэффициента мощности установкой компенсирующих конденсаторных устройств.

Нормативные значения коэффициента мощности в электрических сетях в Казахстане для индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, определяются по классу напряжения в точке присоединения к электрической сети: 110 – 220 кВ > 0,89; 6 – 35 кВ > 0,92; 0,4 кВ > 0,93.

В настоящее время практически на всех предприятиях с нагрузкой выше 630 киловольт-ампер для обеспечения нормативного значения коэффициента мощности, как правило, устанавливаются ступенчато регулируемые конденсаторные установки.

Если в системе распределения энергии, включающей в себя индуктивности и ёмкости, применяются конденсаторы коррекции коэффициента мощности, всегда есть частота, на которой конденсаторы находятся в параллельном резонансе с сетью. Если это условие выполняется на частоте одной из гармоник, генерируемой нелинейным потребителем энергии, между сетью и конденсатором будут протекать большие токи на частоте этой гармоники, ограниченные только демпфирующим сопротивлением цепи. Они будут складываться с имеющимися искажениями, увеличивая их. Это приведёт к увеличению напряжения на конденсаторе и чрезмерному току через компоненты системы. Перегрузка конденсаторных батарей в странах СНГ регламентируется стандартами [9, 10], которые запрещают эксплуатацию конденсаторных батарей в том случае, когда токи, проходящие через конденсаторные батареи, превышают номинальные токи батареи в 1,3 раза. За рубежом, согласно стандарту [11], действующее значение суммарного тока, проходящего через конденсаторную установку, не должно превышать 135 % от её номинального тока

Определение возможности возникновения резонансных режимов в системах электроснабжения с источниками высших гармоник является актуальной задачей, как при выборе компенсирующих устройств, так и при обосновании необходимости установки фильтрокомпенсирующих блоков, поэтом в данной работе рассмотрен еще один из подходов к оценке и решению проблем, возникающих при резонансе токов.

В настоящей работе будет производиться математическое моделирование режима резонанса токов при изменении реактивной мощности нагрузки и емкостного сопротивления батареи конденсаторов.

В публикациях излагаются различные подходы к определению резонансной частоты системы. При расчете режима резонанса токов авторы работ [12, 13] учитывают полное сопротивление трансформатора, емкостные проводимости кабельных линий и емкостное сопротивление конденсаторных батарей, но не учитывают комплексное сопротивление нагрузки.

В работах [13–16] авторами учтены не все параметры электрической системы. При этом созданы алгоритмы, с помощью которых можно определить резонансные частоты системы электроснабжения при изменении степени компенсации реактивной мощности, но без учета хаотичности изменения мощности нагрузки.

В публикациях [15–16] рассматривается пакетное вейвлет-преобразование сигнала тока, которое позволяет выявить только области частот, на которых выполняется условие резонанса токов.

При расчете режима резонанса токов авторы [18] предлагают учитывать полную проводимость всех элементов резонансного контура. Под выражением $Z_{\text{sys}} = R_{\text{sys}} + jX_{\text{sys}}$ они понимают активные и индуктивные сопротивления элементов, входящих в систему электроснабжения. Изложенный подход получил свое развитие в предлагаемой работе.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных исследованию резонанса токов, ни в одной из них [12–18] авторами не рассмотрена задача определения диапазона частот, на которых может произойти перегрузка конденсаторов токами высших гармоник при изменении мощности нагрузки и переключении ступеней конденсаторных батарей. К тому же в работе активное и реактивное сопротивления резонансного контура учитывают все активные, индуктивные и емкостные параметры цепей, к которым подключен блок конденсаторов. В работе предлагается алгоритм определения резонанса тока и диапазон частот, на которых может произойти перегрузка конденсаторных батарей. Проводится анализ перегрузки батарей конденсаторов при наличии большого количества мелких потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой, подключенных на разных ТП-6/0,4 кВ.

Материалы и методы

На одном из предприятий с большим количеством мелких потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой, подключенных на разных ТП-6/0,4 кВ были установлены на обеих шинах РУ- 6 кВ конденсаторные установки УКРМ56-6,3-2700 (1350+9х150) М4 УХЛ1 с автоматическими регуляторами реактивной мощности NOVAR 1206.

После непродолжительной работы установок вначале на одной, а затем и на второй установке произошло срабатывание и выход из строя предохранителей и патронов типа ПКТ. При этом батареи конденсаторов нагрелись так, что осыпалась с них краска.

В электрической сети без подключения конденсаторной установки были проведены исследования по наличию гармонических искажений кривой напряжения. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Гармонические искажения кривой напряжения

№ гармоники	Зафиксированное значение	Нормируемое по ГОСТ 13109-97
H3	1,0	3,0
H5	1,1	4,0
H7	5,3	3,0
H9	1,2	1,0
H11	4,1	2,0
H13	5,6	2,0
Сумма	7,0	5,0

Из таблицы следует, что в электрической сети 6 кВ предприятия имеет место превышения допустимого уровня гармонических искажений высших порядков, начиная с седьмой гармоники, что свидетельствует о наличии в этой сети нагрузок с нелинейной вольтамперной характеристикой. При этом в сетях 0,4 кВ гармонические искажения кривой напряжения ниже нормируемых ГОСТ 13109-97.

Регулятор коэффициента мощности автоматически включает и выключает ступени для получения необходимых значений реактивной мощности. QБСК = (450–1350) кВАр с шагом 150 кВАр.

Микропроцессорный регулятор, измеряя сигналы тока и напряжения, вычисляет мощность нагрузки емкостного характера, которая должна быть в данный момент времени подключена к сети для обеспечения заданного коэффициента мощности.

Для оценки влияния высших гармоник на работу конденсаторной установки УКРМ56-6,3-2700 специалистами ТОО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод» совместно с представителями предприятия были произведены измерения показателей качества электроэнергии на ГПП-110/6 кВ при изменении ее мощности.

Целью проведения измерений было определение показателей качества электроэнергии в питающих линиях конденсаторных установок УКРМ56-6,3-2700 (1350+9х150) М4 УХЛ1, а также определение причин возникновения технологических нарушений их работы в процессе эксплуатации.

Измерения производились на двух секциях шин РУ-6 кВ анализатором качества электроэнергии РЕСУРС-UF2. Анализатор был подключен к ячейкам, питающих УКРМ. Таким образом, измерения отражают показатели качества электроэнергии в цепи питания установок УКРМ. В виду предыдущих технологических нарушений, возникших в процессе работы установок УКРМ, и во избежание нарушения отлаженной технологического процесса предприятия было принято решение о включении установок под напряжение на время 5-10 минут. На момент проведения измерений не все технологическое оборудование было введено в работу. Результат проведенных измерений отражен в Протоколах испытаний электрической энергии.

Включение анализатора на УКРМ-1 было осуществлено в 12:23. В момент включения уже была включена постоянная часть УКРМ-1 – 450 кВАр. В 12:25 в ручном режиме была подключена ступень компенсации № 1 – 150 кВАр. В 12:28 подключена ступень № 2 – 300 кВАр и отключена ступень № 1 – 150 кВАр.

Гармонические искажения тока установки УКРМ-1 представлены на рисунках 1–2 (гармоники ниже 5 не приведены из-за незначительной их величины). Гармонические искажения тока установки в фазе С приблизительно такие же, как в фазе В.

Регулятор реактивной мощности. NOVAR 1206, установленный в установках УКРМ подключается к токовым цепям на вводе в РУ-6 кВ, Значения искажений, зафиксированные на вводе СШ-6 кВ, в момент проведения замеров, отражаемые интерфейсом регулятора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Искажения на вводе СШ - 6 кВ

№гарм.	Пост. часть=450 кВАр		Вкл.Ст.1-150кВАр		Вкл.Ст.2 - 300кВАр		NTHDUU
	THDI	THDU	THD1	THDU	THDI	THDU	
THD	4,5	6,5	7,5	1,0	8,5	1,5	7,0
H3	0,2	0,6	0,6	0,2	0,6	0,1	1,0
H5	3,9	4,4	4,5	0,7	4,6	0,8	1,1
H7	2,3	3,7	4,6	0,9	5,4	1,1	5,3
H9	0,2	0	0,2	0,1	0,2	0,1	1,2
H11	0,2	1,2	2,1	0,5	4,3	0,7	4,1
H13	0,3	1,5	0,2	0	0,9	0,2	5,6
H15	0,1	0,4	0	0,2	0	0,1	1,4
H17	0	0,2	0	0,2	0	0	0,6
Ш9	0	0,2	0,2	0	0	0	0,4
CHL		95		98		100	132

где THD – мгновенный уровень гармонических искажений, %;

THDI – мгновенный уровень гармонических искажений тока, %;

THDU – мгновенный уровень гармонических искажений напряжения, %;

CHL – мгновенное значение коэффициента гармонической нагрузки конденсаторов, %;

NTHDU – максимально зарегистрированный за период эксплуатации уровень гармонических искажений напряжения, %.

Из таблицы и рисунков следует, что при включении только постоянной части конденсаторов = 450 кВАр имеем перегрузку гармоническими составляющими тока на 7,7 %, т.е. $I_{\text{БСК}} / I_1 = 1,077$ по сравнению с током синусоидальной гармоники.

Наибольшие искажения в кривой тока установки УКРМ-1 происходят в результате воздействия гармоник тока 7-го и 11-го порядков. После включения ступени 150 кВАр в 12:25 происходит увеличение коэффициента несинусоидальности по току приблизительно с 6,5 % (7 гармоника) и 6 % (11 гармоника) в 12:24 до 8 % (7 гармоника) и 9 % (11 гармоника) в 12:26. После отключения ступени 150 кВАр и включения ступени 300 кВАр в 12:28 происходит увеличение коэффициента несинусоидальности по току приблизительно с 8 % (7 гармоника) и 9 % (11 гармоника) в 12:27 до 9 % (7 гармоника) и 14 % (11 гармоника) в 12:29-12:30.

Дальнейшие экспериментальные исследования по переключению ступеней не выполнялись.

При включении ступеней компенсации коэффициент искажения возрастает так же и на вводе в распределительное устройство, что свидетельствует о передаче искажений в сеть. На рисунках 1–2 показаны гармонические искажения тока установки на фазе А и В, по горизонтали отображены величины гармоник с 5 по 13.

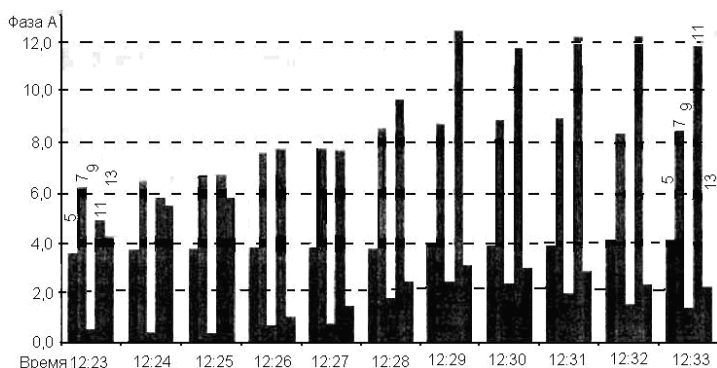


Рисунок 1 – Гармонические искажения тока установки на фазе А

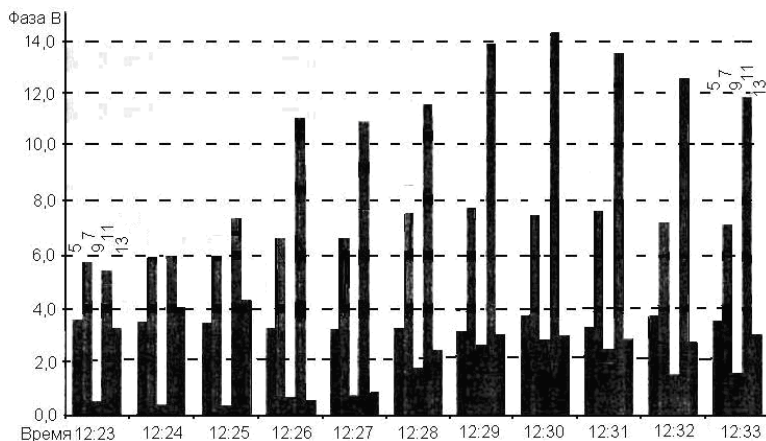


Рисунок 2 – Гармонические искажения тока установки на фазе В

Из выше сказанного следует, что включение дополнительных ступеней компенсации сопровождается увеличением коэффициента несинусоидальности по току, следовательно, увеличивается ток через конденсаторы.

Максимальные коэффициенты несинусоидальности по току за период измерений зафиксированы в 12–30 в фазе В.

Следовательно, использование токоограничивающих предохранителей для защиты от короткого замыкания и перегрузок конденсаторов затрудняется при наличии высших гармонических искажений в виду возможного повторного зажигания дуги в дугогасящей среде. Это вызвано тем, что вследствие поверхностного эффекта, вызванного высшими гармониками, происходит неравномерный нагрев по сечению плавкой вставки и, следовательно, к некорректному срабатыванию и выходу из строя патронов предохранителей.

В виду зависимости тока конденсаторов от гармонических частот напряжения, они являются наиболее уязвимыми силовыми элементами энергетической инфраструктуры современных предприятий.

Результаты и обсуждение

При наличии большого количества мелких потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой, подключенных на разных ТП-6/0,4 кВ суммарный гармонический спектр, полученный при измерениях на ГПП-110/6 кВ, характерен для работы выпрямительных установок и преобразователей частоты с шести и двенадцати импульсными выпрямительными схемами.

Рассмотрим подробнее причины возникновения указанных реакций системы электроснабжения на колебания высших гармоник и возможные пути их решения.

Потребление активной мощности на выработку 1 кВАр реактивной мощности составляет (0,003–0,0045) кВт, а потери активной мощности в элементах сети при протекании реактивной мощности незначительны, поэтому учет активных сопротивлений БСК и в суммарной индуктивности сети не целесообразен из-за их малости по сравнению с X_c и X_n .

К тому же в [14] показано, что при определении частоты резонанса, если не учитывается активное сопротивление в индуктивной цепи в резонансном контуре, погрешность составляет меньше 0,1 %. То есть при проведении практических расчетов можно не учитывать активное сопротивление RL .

Следует отметить, что активные сопротивления в резонансном контуре оказывают демфирующее действие на амплитуду колебательного процесса.

Известно, что при равенстве емкостного и индуктивного сопротивлений (проводимостей) возникает резонанс токов, при котором ток в индуктивности I_L и ток в емкости I_c равны друг другу. Физическая суть резонанса заключается в том, что в каждую четверть периода синусоиды происходит обмен энергией между магнитным полем, запасаемым в индуктивности нагрузки и электрическим полем блока конденсаторов, причем энергия полей равна друг другу.

При параллельном соединении участков g_n , L_n , $C_{бск}$ (R_n , X_n , $X_{бск}$) резонансная частота определяется:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{L_n C_{бск}}}, \quad (2)$$

Или же, согласно [19]:

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_n C_{бск}}}, \quad (3)$$

где $L_n = X_n / \omega_0$ – индуктивность системы электроснабжения на частоте основной гармоники сети; $C_{бск}$ — емкость конденсаторной батареи (БСК);

$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0$, $\omega_0 = 2\pi f_0$ – синхронная частота при частоте сети $f_0 = 50$ Гц;

$R_n = U_n^2 / P_n$ – активное сопротивление нагрузки на основной частоте;

$X_n = U_n^2 / Q_n$ – индуктивное сопротивление нагрузки на основной частоте;

$X_C = 1/\omega_0 C_{\text{БСК}}$ – емкостное сопротивление конденсаторной батареи;
 P_H, Q_H – активная и реактивная мощность нагрузки, поступающая на шины, где подключен блок конденсаторов;

U_H – номинальное напряжение на шинах, где подключена БСК.

Следует заметить, что такое представление R_H и X_H учитывает все активные, индуктивные и емкостные параметры присоединенных к шинам цепей.

На рисунке 3 приведена амплитудно-частотная характеристика $I_C(\omega)$, $I_L(\omega)$ для R, L, C параллельного контура, построенная при условии, что $I=\text{const}$, $R=\text{const}$, $L=\text{const}$, $C=\text{const}$ [19]. $U(\omega)$.

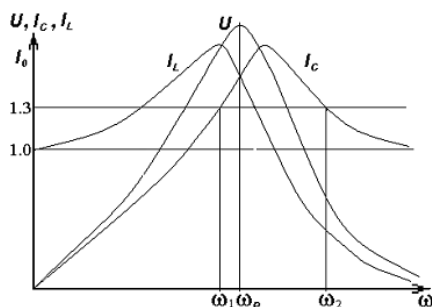


Рисунок 3 – Амплитудно-частотная характеристика $I_C(\omega)$, $I_L(\omega)$ для R, L, C параллельного контура

Частотные характеристики построены по следующим формулам:

$$U(\omega) = I_0 / \sqrt{g^2 + (1/\omega L - \omega C)^2}, \quad (4)$$

$$I_L(\omega) = U(\omega) / \omega L, \quad (5)$$

$$I_C(\omega) = U(\omega) \cdot \omega C. \quad (6)$$

Из рисунка 3 следует, что при приближении частоты колебаний к резонансной частоте амплитуды гармонических составляющих токов растут, а при прохождении ее падают. Очевидно, что полоса частот, при которых будет происходить перегрузка батарей конденсаторов, лежит в диапазоне $\omega_1 - \omega_2$.

Ток конденсаторной установки зависит от сопротивления включенных конденсаторов и рассчитывается по формуле:

$$I_{\Phi} = U_{\Phi} / X_C \quad (7)$$

где I_{Φ} – фазный ток конденсатора;

U_{Φ} – фазное напряжение конденсатора;

X_C – емкостное сопротивление конденсатора.

В свою очередь сопротивление конденсатора зависит от частоты питающего напряжения. Емкостное сопротивление конденсатора рассчитывается по формуле:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot n \cdot C_{БСК}}, \quad (8)$$

где n – частота гармонического искажения напряжения сети.

Как видно из формулы сопротивление батареи конденсаторов (8) обратно пропорциональное частоте питающего напряжения, следовательно, с ростом порядка гармонических составляющих напряжения (увеличение частоты гармоники) сопротивление батареи конденсаторов уменьшается и следовательно возрастает ток через нее на частоте данной гармоники.

Полный ток конденсатора складывается из геометрической суммы всех гармонических составляющих тока и рассчитывается следующим образом:

$$I_{БСК} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n \geq 2} I_n^2}. \quad (9)$$

Перегрузку по току можно определить исходя из следующего уравнению:

$$\frac{I_{БСК}}{I_1} = \sqrt{\frac{1 + (u_3 \cdot 3)^2 + (u_5 \cdot 5)^2 + (u_7 \cdot 7)^2 + \dots + (u_{15} \cdot 15)^2 + (u_{17} \cdot 17)^2 + (u_{19} \cdot 19)^2 + \dots}{1}} \quad (10)$$

где I_1 – действующее значение тока основной (первой) гармоники;

I_n – действующее значение тока n -й гармоники;

u_i – мгновенный уровень гармонических искажений напряжения, %.

Следовательно, перегрузка конденсаторных батарей токами, превышающими номинальные токи батареи в 1,3 раза будет возникать в

широкой полосе частот, близких к резонансной. Это зависит также от пиковых амплитуд гармонических искажений и их фазовых сдвигов друг к другу, создаваемых разными источниками гармоник.

Использование в таких режимах работы сети конденсаторных установок невозможно, так как они будут работать со значительной токовой перегрузкой, которая за достаточно короткий промежуток времени приведет к дополнительному нагреву и разрушению конденсаторных батарей или выходу из строя предохранителей.

Следует отметить, что в процессе работы предприятия нагрузка по технологическим причинам (включение/отключение) или аварийным отключениям может измениться в очень широком диапазоне при условии неизменности количества подключенных конденсаторов из-за инерционности регулятора БСК. Поэтому при исследовании резонанса тока необходимо проводить расчеты всех возможных режимов работы сети.

Использовать предложенную выше методику для определения диапазона частот, при которых произойдет перегрузка блока конденсаторов при изменении мощности нагрузки и количества блоков конденсаторов не сложно. Требуется построить зависимости $U(\omega)$, $I_C(\omega)$, $I_L(\omega)$ для четырех режимов:

- минимальная нагрузка и минимальное число, подключенных конденсаторов;
- минимальная нагрузка и максимальное число, подключенных конденсаторов;
- максимальная нагрузка и минимальное число, подключенных конденсаторов;
- максимальная нагрузка и максимальное число, подключенных конденсаторов.

На основании построенных зависимостей можно провести полный анализ возможности возникновения резонанса тока и перегрузки конденсаторов при широком изменении мощности нагрузки и числа подключенных блоков конденсаторов.

Рассмотрим еще один подход к решению проблемы.

По известной минимальной и максимальной реактивной мощности нагрузки определяем значения индуктивных сопротивлений на основной гармонике:

$$X_{L1} = U_H^2 / Q_{H\min} , \quad (11)$$

$$X_{L2} = U_H^2 / Q_{H\max} . \quad (12)$$

Затем рассчитываем на этой же частоте индуктивность:

$$L_1 = X_{L1} / 2\pi \cdot f_0 \quad (13)$$

$$L_2 = X_{L2} / 2\pi \cdot f_0. \quad (14)$$

По найденным значениям L_1 и L_2 определяем X_{L1} и X_{L2} на других частотах по формуле:

$$X_{Li} = 2\pi \cdot f_0 \cdot n \cdot L_i, \quad (15)$$

где n – номер гармоники.

Строим зависимости $X_{L1}(\omega)$ и $X_{L2}(\omega)$ для максимальной и минимальной нагрузки.

Аналогично выполняем расчеты для минимального и максимального значения емкости БСК по формулам:

$$X_{C1} = U_H^2 / Q_{\text{БСКmin}}, \quad (16)$$

$$X_{C2} = U_H^2 / Q_{\text{БСКmax}}, \quad (17)$$

$$C_1 = X_{C1} / 2\pi \cdot f_0, \quad (18)$$

$$C_2 = X_{C2} / 2\pi \cdot f_0, \quad (19)$$

$$X_{Ci} = 2\pi \cdot f_0 \cdot n \cdot C_i. \quad (20)$$

Строим зависимости $X_{C1}(\omega)$ и $X_{C2}(\omega)$ для максимального и минимального значения емкости БСК.

По построенным зависимостям можно также провести полный анализ возможности возникновения резонанса тока при широком изменении мощности нагрузки и числа подключенных блоков конденсаторов. Частота резонанса определяется из условия:

$$X_{L2}(f) + X_{C2}(f) = 0. \quad (21)$$

Для снижения амплитуд высших гармоник, вызванных нелинейной нагрузкой применяются дополнительные устройства. Иногда достаточно подключить фильтр гармоник последовательно с конденсатором таким образом, чтобы цепь фильтр/конденсатор была индуктивной на критических частотах и емкостной на основной частоте. Для этого цепь из последовательно соединенных конденсатора и фильтра должна иметь собственную частоту ниже наименьшей критической гармоники. Значение частоты зависит от амплитуд и порядка имеющихся гармоник.

Выводы

В процессе работы предприятия нагрузка по технологическим причинам (включение/отключение) или аварийным отключениям может изменяться в очень широком диапазоне при условии неизменности количества подключенных конденсаторов из-за инерционности регулятора БСК. Поэтому при исследовании резонанса тока необходимо проводить расчеты всех возможных режимов работы сети.

Активные сопротивления в резонансном контуре оказывают только демфирующее действие на амплитуду колебательного процесса, и не влияет на резонансную частоту, так как резонанс наступает только при равенстве магнитной и электрической энергий.

Перегрузка конденсаторов может также происходить на частотах больше или меньше резонансной частоты и зависит от суммы амплитуд спектра частот, поступающих от источников гармоник.

На основании предложенных в работе алгоритмов можно определить диапазон частот, на которых будет выполняться условие резонанса токов, а также провести полный анализ возможности возникновения перегрузки конденсаторов при широком изменении мощности нагрузки и числа подключенных блоков конденсаторов.

Определение диапазона частот, на которых будет происходить перегрузка конденсаторов, необходим для выбора способов и средств подавления высших гармоник, подбора и настройки устройств, предназначенных для снижения амплитуд токов высших гармоник в сети.

При наличии большого количества мелких потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой, подключенных на разных ТП-6/0,4 кВ установка фильтров высших гармоник экономически нецелесообразна.

При коэффициенте мощности таких предприятий, равным 0,88-0,9 установка БСК не целесообразна. В электрической сети 6 кВ имеет место превышения допустимого уровня гармонических искажений, начиная с седьмой по 11 гармоники, что свидетельствует о наличии в этой сети суммарных искажений, поступающих из сетей 0,4 кВ. При этом гармонические искажения кривой напряжения в сетях 0,4 кВ ниже

нормируемых ГОСТ 13109-97. При прохождении через входной реактор и трансформатор искажения с седьмой по 11 гармоники снизятся на порядок, так как $X_{L\Xi} = 2\pi \cdot f_0 \cdot n \cdot (L_p + L_T)$ и на высокой стороне трансформатора, показатели качества напряжения придут в норму.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Руководство по компенсации реактивной мощности с учетом влияния гармоник. Выпуск 21. Техническая коллекция Schneider Electric. – 2008. – 26 с.

2 Гармонические искажения в электрических сетях и их снижение. Выпуск 22. Техническая коллекция Schneider Electric. – 2008. – 28 с.

3 **Жежеленко, И. В.** Высшие гармоники в сетях электроснабжения промышленных предприятий. 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

4 IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE Std. 1159 – 1995.

5 **Куско, А., Томпсон, М.** Качество энергии в электрических сетях / пер. с англ. – М. : Додэка-XXI, 2008.

6 **Stratford, R.** Analysis and control of harmonic current in systems with static power converters // IEEE trans. On industry applications. – 1981. – Vol. IA-17. – № 1. – P. 71–81.

7 **Akagi, H.** Active harmonic filters // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93. – № 12. – P. 2128–2140.

8 **Говорун, В. Ф., Говорун, О. В., Марковский, В. П. и др.** Энергоэффективность передачи и потребления реактивной мощности в электрических сетях. // Вестник ПГУ. Серия энергетическая, 2020. – № 2. – С.16–25.

9 Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности. [Электронный ресурс]. – <http://www.kondensator.su/kondensatornye-ustanovki/krm-reactive-power-compensation.html> (Дата обращения 10.11.2020).

10 Установки компенсации реактивной мощности. [Электронный ресурс]. – <https://profsector.com/publication/1/ustanovki-kompensatsii-reaktivnoy-moshhnosti> (Дата обращения 10.11.2020).

11 IEEE Standard for Shunt Power Capacitors // IEEE Std. – 18-2012, 2013. – 69 p.

12 **Николаев, А. А., Корнилов, Г. П., Храмшин, Т. Р. и др.** Экспериментальные исследования электромагнитной совместимости современных электроприводов в системе электроснабжения металлургического предприятия // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2016. – Т. 14. – № 4. – С. 96–105.

13 **Петухов, В.** Резонансные явления в электроустановках зданий как фактор снижения качества электроэнергии // Новости электротехники. – 2003. – № 6 (24). [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2003/24/20.php> (Дата обращения 05.11.2020).

14 **Коваленко, Д. В.** Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 8 (часть 1) – С. 16–21.

15 **Osipov, D. S., Kovalenko, D. V., Dolgikh, N. N.** Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – 2017. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239492.

16 **Файфер, Л. А., Осипов, Д. С., Еремин, Е. Н., Долгих, Н. Н.** Применение пакетного вейвлет-преобразования для определения составляющих мощности при несинусоидальных режимах // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 8 (115). – С. 136–145.

17 **Сиромеха, С. С., Осипов, Д. С., Черемисин, В. Т.** О необходимости учёта режима работы и импеданса системы электроснабжения при моделировании резонанса токов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15252> (Дата обращения 15.11.2020).

18 **Rahimi, S., Wiechowski, W., Rundrup, M. [at al.].** Identification of problems when using long high voltage AC cable in transmission system II: Resonance & Harmonic resonance // Transmission and Distribution Conference and Exposition. T&D. IEEE/PES. 2008. – P. 1–8. – DOI: 10.1109/TDC.2008.4517187.

19 **Нейман, А. Р., Димирчян, К. С.** Теоретические основы электротехники. Том первый. – Ленинград : Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1981. – 535 с.

REFERENCES

1 Rukovodstvo po kompensatsii reaktivnoy moshchnosti s uchetom vliyaniya garmonik [Guidelines for reactive power compensation taking into account the influence of harmonics]. Issue 21. Schneider Electric Technical Collection. – 2008. – 26 p.

2 Garmonicheskiye iskazheniya v elektricheskikh setyakh i ikh snizheniye [Harmonic distortion in electrical networks and their reduction]. Issue 22. Schneider Electric technical collection. – 2008. – 28 p.

3 **Zhezhelenko, I. V.** Vysshieye garmoniki v setyakh elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy [Higher harmonics in power supply networks

of industrial enterprises]. 4th ed., Rev. and add. – Moscow : Energoatomizdat, 2000. – 331 p.

4 IEEE recommended practice for monitoring electric power quality // IEEE Std. 1159 – 1995.

5 **Cuzco, A., Thompson, M.** Kachestvo energii v elektricheskikh setyakh : perevod s angliyskogo [Energy quality in electrical networks : trans. from English]. – Moscow : Dodeka-XXI, 2008.

6 **Stratford, R.** Analysis and control of harmonic current in systems with static power converters // IEEE trans. On industry applications. – 1981. – Vol. IA-17. – No. 1. – P. 71–81.

7 **Akagi, H.** Active harmonic filters. – Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93. – No. 12. – P. 2128–2140.

8 **Govorun, V. F., Govorun, O. V., Markovsky, V. P. et al.** Energoeffektivnost' peredachi i potrebleniya reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyakh [Energy efficiency of transfer and consumption of reactive power in electrical networks]. // Bulletin of PSU. Energy series, 2020. – № 2. – P.16–25.

9 Kondensatornyye ustanovki kompensatsii reaktivnoy moshchnosti [Capacitor units for reactive power compensation]. <http://www.kondensator.su/kondensatornye-ustanovki/krm-reactive-power-compensation.html> (Date accessed 10.11.2020). [Electronic resource].

10 Ustanovki kompensatsii reaktivnoy moshchnosti [Installations of reactive power compensation]. [Electronic resource]. – <https://profsector.com/publication/1/ustanovki-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti>. (Date of access 10.11.2020).

11 IEEE Standard for Shunt Power Capacitors. IEEE Std. 18- 2012, 2013. 69 p.

12 **Nikolaev, A. A., Kornilov, G. P., Khramshin, T. R. [and others].** Eksperimental'nyye issledovaniya elektromagnitnoy sovmestimosti sovremennykh elektroprivodov v sisteme elektrosnabzheniya metallurgicheskogo predpriyatiya [Experimental studies of electromagnetic compatibility of modern electric drives in the power supply system of a metallurgical enterprise] // Vestnik MGTU im. G. I. Nosov. – 2016. – Vol. 14. – No. 4. – P. 96–105.

13 **Petukhov, V.** Rezonansnyye yavleniya v elektroustanovkakh zdaniy kak faktor snizheniya kachestva elektroenergii [Resonance phenomena in electrical installations of buildings as a factor in reducing the quality of electricity] // News of electrical engineering. – 2003. – No. 6 (24). [Electronic resource]. – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2003/24/20.php> (date accessed 05.11.2020)

14 **Kovalenko, D. V.** Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2017. – No. 8 (part 1) – P. 16–21.

15 **Osipov, D. S., Kovalenko, D. V., Dolgikh, N. N.** [Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform] // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – 2017. – P. 1–6. – DOI: 10.1109 / Dynamics.2017. – 8239492.

16 **Fifer, L. A., Osipov, D. S., Eremin, E. N., Dolgikh, N. N.** Primeneniye paketnogo veyvlet-preobrazovaniya dlya opredeleniya sostavlyayushchikh moshchnosti pri nesinusoidal'nykh rezhimakh [Application of packet wavelet transform to determine power components in non-sinusoidal modes] // Bulletin of Irkutsk State Technical University. – 2016. – No. 8 (115). – P. 136–145.

17 **Siromakha, S. S., Osipov, D. S., Cheremisin, V. T.** O neobkhodimosti uchota rezhima raboty i impedansa sistemy elektrosnabzheniya pri modelirovanii rezonansa tokov // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [On the need to take into account the operating mode and impedance of the power supply system when modeling the resonance of currents // Modern problems of science and education]. – 2014. – No. 5. [Electronic resource]. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15252> (Date accessed 15.11.2020)

18 **Rahimi, S., Wiechowski, W., Rundrup, M. [at al.]**. Identification of problems when using long high voltage AC cable in transmission system II: Resonance & Harmonic resonance // Transmission and Distribution Conference and Exposition. T&D. IEEE / PES. – 2008. – P. 1–8. – DOI: 10.1109 / TDC.2008.4517187.

19 **Neiman, A. R., Dimirchyan, K. S.** Teoreticheskiye osnovy elektrotehniki [Theoretical foundations of electrical engineering]. Vol. 1. – Leningrad. Energoizdat. Leningrad branch, 1981. – 535 p.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

**В. Ф. Говорун¹, В. П. Марковский², Б. К. Шапкенов³, П. В. Бурцев⁴, А. С. Аябаев⁵*

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ШАҒЫН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ТҰТЫНУШЫЛАР БАР ЭЛЕКТР БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ҚУАТ ФАКТОРЫН ТҮЗЕТУ

Бұл жұмыста имитациялық модельдеу негізінде жүктеме қуатының ретсіз өзгеруімен және реактивті қуаттың өтелу дәрежесінің өзгеруімен электрмен жабдықтау жүйесінде пайда болатын ток резонансын зерттеу алгоритмі ұсынылған. сызықты

емес вольт-амперлік сипаттамасы бар тұтынушылардың болуы. Конденсаторлар банктерінің шамадан тыс жүктелуі резонанстық жиілікке жақын кең жиілік диапазонында болуы мүмкін екендігі көрсетілген. Ұсынылған алгоритм конденсаторлар банктеріндегі токтардың ұлғаюы параллель резонанс жағдайында рұқсат етілген мәндерден жоғары болуы мүмкін барлық ықтимал жиіліктерді анықтайды.

Ұсынылған жұмыстың мақсаты: кәсіпорынның электрмен жабдықтау жүйесінің қандай жұмыс режимдерінде жүктеме қуаты өзгергенде және реактивті қуаттың өтелу дәрежесі өзгергенде жоғары гармоника токтарымен конденсаторлардың шамадан тыс жүктелуі орын алуы мүмкін екенін көрсету.

Кілтті сөздер: қуат факторы; сызықты емес жүктеме; жоғары гармоникалар; токтардың резонансы; статикалық конденсаторлар батареясы.

**V. F. Govorun¹, V. P. Markovsky², B. K. Shapkenov³, P. V. Burtsev⁴, A. S. Ayabayev⁵*

*^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received jn 28.02.22.*

POWER FACTOR CORRECTION IN POWER SUPPLY SYSTEMS WITH SMALL NON-LINEAR CONSUMERS

In this work, on the basis of simulation modeling, an algorithm for studying the resonance of the current that occurs in the power supply system with a chaotic change in the load power and variation in the degree of compensation of reactive power, in the presence of consumers with a nonlinear current-voltage characteristic is proposed. It is shown that overloading of capacitor banks can occur in a wide frequency range, close to the resonant frequency. The proposed algorithm determines all possible frequencies at which an increase of currents in capacitor banks can occur above the permissible values in parallel resonance.

The purpose of the proposed work: to show operating modes of the power supply system when an overload of capacitors by currents of higher harmonics can occur on the load power changes and vary of the degree of reactive power compensation.

Keywords: power factor; non-linear load; higher harmonics; resonance of currents; battery of static capacitors.

<https://doi.org/10.48081/QGAV3421>

***А. Б. Диханбаев¹, Б. И. Диханбаев², М. Б. Кошумбаев³,
С. Б. Ыбрай⁴**

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы;

^{2,3}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, Нур-Султан;

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

К ВОПРОСУ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ РЕАКТОРА ИНВЕРСИИ ФАЗ В ИСКУССТВЕННЫЙ ГАЗ

В отвалах металлургических предприятий накоплено около 20 миллиардов тонн техногенных отходов, из них 8 миллиардов шлаки черной металлургии и 12 миллиардов – цветной металлургии. Переработка их традиционными методами требует 2–3 раза больше энергии чем обработка «богатого» сырья. Опытные испытания плавильного агрегата «реактор инверсии фаз-вращающаяся печь-воздухоподогреватель» по восстановлению цинка из шлаков показали, что удельный расход энергии в 2–3 раза ниже, а удельная производительность в 3–4 раза выше чем в существующих аналогах.

Недостатком агрегата является: 1) перегрев шлака на разгрузочном конце печи, что может привести к плавлению шлака, окомкованию и нарушению режима работы установки; 2) невысокая температура отходящих газов вращающейся печи, перед воздухоподогревателем, что требует применение кислорода для плавки. Данный недостаток был устранен применением способа термохимической обработки отходящих газов реактора дополнительной порцией природного газа и дожиганием искусственного газа перед воздухоподогревателем. В итоге предложена термодинамическая модель расчета и экспериментально подтверждена возможность преобразования высокотемпературных отходящих газов плавильного реактора в искусственный газ; установлено, что введение режима химической

регенерации газов создает благоприятное условие, как для снижения перегрева шлака в разгрузочном конце вращающейся печи, так и для повышения температуры дутьевого воздуха до необходимого уровня, позволяющего отказаться от применения кислорода.

Ключевые слова: термодинамическая модель расчета, реактор инверсии фаз, фьюминг-шлак, цинк, искусственный газ.

Введение

Разрабатываемый авторами агрегат «реактор инверсии фаз – вращающаяся печь» является энергосберегающим видом плавильного оборудования для переработки техногенных отходов с низким содержанием цинка и других цветных, черных и редких металлов [1-6]. Несмотря на ряд достоинств этот агрегат имеет следующие недостатки: перегрев и окомкование шлака в месте сопряжения вращающейся печи с реактором, связанный высокой интенсивностью теплообмена между нагретым шлаком и высокотемпературным, закрученным потоком реакторных газов; вынужденное применение кислорода в процессе плавки, в результате остывание газов во вращающейся печи, ведущий к недостаточному нагреву окислителя в воздухоподогревателе (ВЗП), 280-3200С, вместо требуемого ,

Методы, оборудование и материалы

Методом для устранения этих недостатков выбран термохимическая регенерация отходящих газов (ОГ) высокотемпературных установок, заключающийся в превращении физической теплоты ОГ в химически связанную энергию путем газификации не дефицитных для данной местности топлива (уголь, мазут, природный газ и т.д.). В результате химической регенерации получается искусственный газ (ИГ) подобно водяному генераторному газу [7-9]. В разных источниках исследований этот процесс имеет разные наименования, как например, эндотермическая переработка дополнительного топлива на отходящих газах, химическая регенерация отходящих газов, энергохимическая аккумуляция газов (ЭХА). Для дальнейшей работы принято последнее название процесса – ЭХА. Эксперименты проводились на пилотной установке ТОО «Отрар» производительностью по шлаку 1,5 т/ч (см. рис. 1,2). Установка снабжена контрольно-измерительными приборами для регистрации технологических параметров процесса. Материалом для исследования принят малоцинковистый шлак фьюминговой плавки и природный газ месторождения Газли (Узбекистан). Исходный состав шлака в масс. %: ZnO (3,5-4,0); PbO (0,1 – 0,15); Cu (0,6 -0,8); FeO (7-8); Fe₂O₃ (2-3); Fe₃O₄ (23-24); SiO₂ (27-28); CaO (13-14); Al₂O₃ (7-9); S(0,4-0,5).



Рисунок 1 – Общий вид пилотной установки

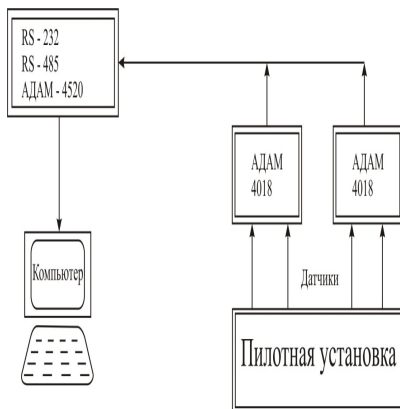


Рисунок 2 – Схема регистрации технологических параметров пилотной установки на основе контроллеров серии АДАМ - 4000

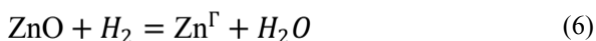
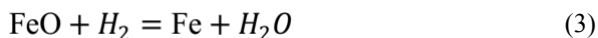
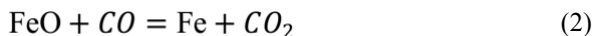
Разработка термодинамической модели расчета энергохимической аккумуляции газов.

Оценка эффективности преобразования отходящих реакторных газов в искусственное топливо требует проведения термодинамических расчетов процесса ЭХА с учетом восстановления цинка из расплава в плавильном реакторе. С этой целью вычисляют состав отходящих реакторных газов базируясь на следующей упрощенной физико-химической модели процесса в слое расплава: в газовой фазе и на границе газ-шлак равновесие устанавливается мгновенно; продукты сгорания топлива при входе в слой мгновенно охлаждаются до температуры расплава; в исходных продуктах сгорания в слое расплава содержатся H_2 , H_2O , CO , CO_2 , N_2 , а в конечных газовых продуктах энергохимической аккумуляции к ним добавляется парообразный цинк $-\text{Zn}^r$, что справедливо для процесса переработки шлаков происходящего при температуре ниже 1600°C .

Последнее условие позволяет определить состав продуктов сгорания по равновесию только одной реакций:



Проходя сквозь слой цинксоодержащего расплава газы взаимодействуют с окисью железа и окисью цинка по следующим реакциям:



Особенностью восстановления цинка из шлаковых расплавов продуктами конверсии природного газа является слабое развитие реакции (2), с образованием металлического железа, которое в условиях слоя инверсии фаз успевает расходоваться по реакции (4). В этих условиях процесс характеризуется преимущественно протеканием реакции (5), которая находится в диффузионной области реагирования. Поэтому в качестве расчетной принимается реакции (1) и (5), для которых константа равновесия и температурная зависимость константы равновесия предложенная в (10) записываются в следующем виде:

$$K = y \cdot w / x \cdot q, \quad (7)$$

$$K = 10 \exp \left(-\frac{1640}{T} + 1,5 \right), \quad (8)$$

Здесь: x, y, w, q - число молей CO_2 , CO , H_2O , H_2 в отходящих реакторных газах на один моль исходного природного газа (например, моль CO_2 /моль природного газа).

Из материального баланса для углерода, водорода и кислорода, с учетом восстановленного из расплава цинка, выводим систему для определения состава отходящих реакторных газов перед камерой ЭХА, [11]:

$$x + y = B; \quad q + w = C; \quad x + 0,5(w + y - Z) = E \quad (9)$$

Здесь: B, C – число молей углерода, водорода в природном газе, E – число молей кислорода в окислителе, Z – число молей ZnO вступившее в реакцию на один моль природного газа.

Из совместного решения уравнений (7) и (8) получим систему:

$$(K-1)x^2 + [K(B+C-Z-2E)+Z+2E]x - B(2E+Z-B) = 0;$$

$$y = B - x; w = Z + 2E - B - x; q = c - w; \quad (10)$$

Суммарное число молей полученных продуктов:

$D = A + B + C$, здесь A – число молей азота вступившего в реакцию.

где: $A = \alpha\beta\Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n + m_{N_2}^0$; $B = \Sigma(m)C_mH_n + m_{CO_2}^0$;

$$C = \Sigma\left(\frac{n}{2}\right)C_mH_n + d\alpha(1+\beta)\Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n;$$

$$E = \alpha\Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n + m_{CO_2}^0 + 0,5d\alpha(1+\beta) \cdot \Sigma\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n; \quad (11)$$

Здесь: $C_mH_n - CH_4, C_2H_6, C_3H_8$ и т.д., $m_{N_2}^0, m_{CO_2}^0$ – число молей азота и углекислого газа поступившие с природным газом, α – коэффициент расхода окислителя, β – отношение мольных долей азота и кислорода в окислителе, d – влагосодержание одного моля окислителя.

В (12) выведена эмпирическая зависимость расхода топлива от технологических параметров плавки шлаков в реакторе. Предварительно задаваясь температурой процесса, при заданном значении производительности реактора $P_{ш}$, совместно решая уравнения (9) и (11) определяют число молей «Z» и расход топлива на процесс «B»:

$$B = \frac{P_{ш}[C_{ш}(t_p - t_{ш}) + q_{пл} + q_{энд} - (\Delta C_Z + \Delta C_f)c_{ш}t_{ш}] + F_{OC} \cdot q_{OC}}{Q_n^P + \alpha v_6^0 c_6 t_6 - (D + Z)c_{O_2}t_{O_2} - [CO \cdot q_{CO} + H_2 q_{H_2} + Z \cdot q_{Zn}]}, \quad (12)$$

Здесь: F_{OC} – огневая поверхность реактора, $P_{ш}$ – расход шлака на реактор, $C_{ш}$ – удельная теплоемкость шлака, $t_{ш}$ – температура шлака поступающего в реактор, t_p – температура расплава на выходе из реактора, $q_{пл}$ – теплота плавления шлака, $q_{энд}$ – теплота эндотермической реакции восстановления цинка из шлаков, q_{CO}, q_{H_2}, q_{Zn} – теплота сгорания (окисления) CO, H_2 и Zn, q_{OC} – удельный тепловой поток через ограждающую поверхность реактора, ΔC_Z – концентрация цинка в шлаке, Q_n^P – низшая теплота сгорания природного газа, α – коэффициент расхода окислителя, v_6^0 – теоретический необходимый удельный расход окислителя, c_6 – удельная теплоемкость окислителя, t_6 – температура окислителя, c_{O_2}, t_{O_2} – теплоемкость и температура отходящих газов с реактора.

Процесс ЭХА газов характеризуется вводом дополнительного количества природного газа в поток высокотемпературных реакторных газов. В физико-

химическом смысле расчет ЭХА представляет собой задачу обратную процессу неполного горения природного газа и сводится к определению конечной температуры, состава и основных топливных характеристик полученного искусственного газа.

$$y_1 + x_1 = y + x + \Delta B = B + \Delta B = B_1;$$

$$q_1 + w_1 = q + w + \Delta C = C + \Delta C = C_1;$$

$$x_1 + 0,5(y_1 + w_1) = x + 0,5(y + w) + \Delta E = E + \Delta E = E_1; \quad A_1 = A \quad (13)$$

Здесь x_1, y_1, w_1, q_1 – число молей $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}$ и H_2 , соответственно, в уходящих газах камеры ЭХА. $\Delta B, \Delta C, \Delta E$ – число молей углерода, водорода и кислорода дополнительно введенного в процесс ЭХА природным газом. Принимая во внимание, что в отходящих реакторных газах цинк находится в парообразном виде, Zn^f для дальнейших расчетов значение «Z» (число молей ZnO) считаем равной нулю.

Задавая температуру процесса ЭХА, T_1 , значениями $\Delta B, \Delta C, \Delta E$ при $Z = 0$, из совместного решения уравнений (7'), (9) находят число молей x_1, y_1, w_1, q_1 в уходящих газах реактора ЭХА.

Проверку правильности решения производят по тепловому балансу камеры ЭХА, (13), затем определяют топливные характеристики полученного искусственного газа по известной методике.

Тепловой баланс камеры ЭХА:

$$Q_{\text{ог}}^x + Q_{\text{ог}}^{\phi} + \Delta Q_{\text{прг}}^x + \Delta Q_{\text{прг}}^{\phi} + Q_{\text{ун}}^{\text{РИФ}} = Q_{\text{уг}}^x + Q_{\text{уг}}^{\phi} + Q_{\text{ш}} + Q_{\text{ос}}^{\text{ЭХА}} + Q_{\text{ун}}^{\text{ЭХА}}, \quad (14)$$

Здесь: $Q_{\text{ог}}^x, Q_{\text{ог}}^{\phi}, Q_{\text{уг}}^x, Q_{\text{уг}}^{\phi}$ – химическая и физическая теплота отходящих газов реактора и уходящих газов камеры ЭХА, соответственно, $Q_{\text{ш}}$ – теплота нагрева шлака в камере ЭХА, $\Delta Q_{\text{прг}}^x, \Delta Q_{\text{прг}}^{\phi}$ – химическая и физическая теплота дополнительно введенного природного газа; $Q_{\text{ос}}^{\text{ЭХА}}$ – потери теплоты в окружающую среду через футеровку реактора ЭХА. $Q_{\text{ун}}^{\text{РИФ}}, Q_{\text{ун}}^{\text{ЭХА}}$ – теплота уноса реактора и камеры ЭХА.

Результаты расчетов и экспериментов.

Результаты расчетов для режима в плавильном реакторе для $\alpha=0,782$ и $t_{\text{ог}}^{\text{ЭХА}} = 1300^\circ\text{C}$ приведены в таблице 1. На основе расчетных технологических параметров плавки были проведены экспериментальные исследования высокотемпературной конверсии природного газа в потоке отходящих цинксодержащих газов реактора инверсии фаз на существующей пилотной установке (рисунки 3).

Вращающаяся печь пилотной установки состоит из двух жестко соединенных частей разных диаметров. Первая часть 2, по ходу реакторных газов, $\ell = 5,5$ м, $d_{\text{нар}}/d_{\text{вн}} = 1,4/0,88$ м, а вторая, 3 – $\ell = 3,5$ м, $d_{\text{нар}}/d_{\text{вн}} = 1,0/0,68$ м. Первая часть предназначалась для проведения ЭХА газов (камера ЭХА), вторая – для дожигания горючих газов ЭХА (камера дожигания). Подвод сжатого воздуха для дожигания ЭХА – газов, осуществлялся через водоохлаждаемую трубу 10. Дополнительный природный газ, через распределительный коллектор 6, подавался под углом 30° в обратном направлении к закрученному потоку реакторных газов. Шлак с бункеров подавался по трубе 7 в камеру дожигания трубчатой печи. Отбор проб шлака и газов производился через специальные отверстия в футеровке трубчатой печи во время кратковременной ее остановки. Для предотвращения подсоса воздуха в реактор ЭХА в системе поддерживался небольшое давление, $5 \sim 10$ мм. вод.ст.

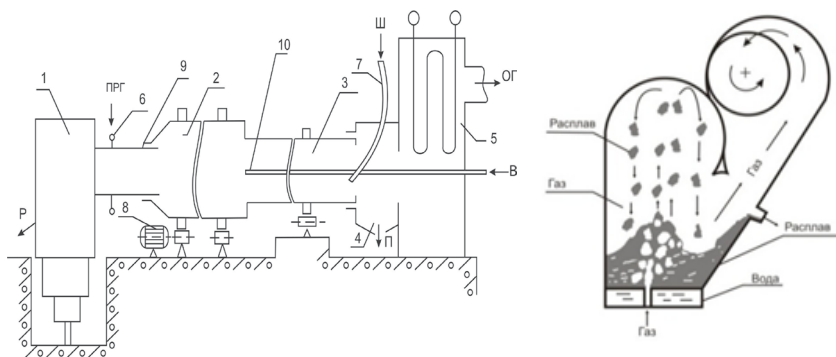


Рисунок 3 – Структурная схема пилотной установки и принципиальная схема реактора инверсии фаз.

1 – реактор инверсии фаз; 2 – реактор ЭХА (РЭХА); 3- камера дожигания (КД) ЭХА – газов; 4 – не футерованная пылевая камера (ПК); 5 – воздухоподогреватель (ВЗП); 6 – коллектор ввода дополнительного природного газа; 7 – шлакозагрузочная труба; 8 – привод трубчатой печи; 9 – уплотнение зазоров камеры ЭХА; 10 – водоохлаждаемая труба для подвода воздуха. ПРГ, В – природный газ и воздух, Ш, П – шлак и пыль, Р – расплав, ОГ – отходящие газы

Результаты экспериментов имели следующие характеристики:

– низшая теплота сгорания природного газа $Q_{\text{рн}} = 34618$ кДж/м³, теоретический расход воздуха $\nu_{\text{г}}^0 = 9,06$ нм³/нм³, коэффициент расхода окислителя в плавильной камере $\alpha = 0,782$;

– составы отходящих газов реактора на сухую массу показаны в таблице 1; парциальное давление паров цинка в ОГ РИФ не превышает 2–3 %;

– режимные показатели переработки шлака: $I_C/G_b = 0,43$; $t_{ш} = 850 - 900^0\text{C}$; $t_p = 1300 - 1350^0\text{C}$; $t_{ог}^P = 1400 - 1450^0\text{C}$; $t_{ог}^{\text{ЭХА}} = 1300 - 1100^0\text{C}$; $t_{ог}^{\text{КД}} = 500 - 850^0\text{C}$; $t_{ог}^{\text{ВЗП}} = 450 - 650^0\text{C}$; $B_{\text{прг}} = 250 - 260 \text{ нм}^3/\text{ч}$; $V_g = 1350 - 1530 \text{ нм}^3/\text{ч}$; $t_g = 300 - 550^0\text{C}$; $V_{O_2} = 120 - 20 \text{ нм}^3/\text{ч}$; $P_p = 1300 - 1400 \text{ кг/ч}$; $C_K = 1,2\%$; $E = 70\%$. $B_{\text{прг}}^{\text{ЭХА}} = 25 - 75 \text{ нм}^3/\text{ч}$.

Здесь: I_C – скорость изменения импульса газов в соплах продувочной решетки плавильного реактора, G_b – вес ванны; $t_{ш}, t_p$ – температура шлака после трубчатой печи и реактора; $t_{ог}^P, t_{ог}^{\text{ЭХА}}, t_{ог}^{\text{КД}}, t_{ог}^{\text{ВЗП}}$ – температура отходящих газов после плавильного реактора, камеры ЭХА, камеры дожигания и ВЗП, соответственно; $B_{\text{прг}}, B_{\text{прг}}^{\text{ЭХА}}$ – расход природного газа на реактор и камеры ЭХА; V_g, V_{O_2} – расход дутьевого воздуха и кислорода; t_g – температура воздуха; P_p – производительность реактора по шлаку; C_K – конечное содержание цинка в расплаве; E – степень извлечение цинка.

Обсуждение результатов экспериментов.

На рисунке 4 и в таблице 1 показаны результаты расчетных и экспериментальных данных. Сравнение экспериментальных данных с расчетными показывают, что термодинамическую модель расчета можно применять во вновь разрабатываемых системах переработки цинк-содержащего сырья, для определения состава ЭХА – газов, с точностью до 10–15 %. С ростом соотношения в пределах $\phi_{\text{прг}}^{\text{ЭХА}} \text{ м}^3/\text{м}^3_{\text{исх. прг}} = 0,1 - 0,25$ температура искусственных газов падает с 1280 до 1080 °С, а соотношение H_2/CO растет ~ 1,6 раза. Концентрации непрореагировавших CH_4 и O_2 не превышает 1,8 % и 1,6 %, соответственно. В таком режиме процесс трансформации физического тепла отходящих газов в химическую энергию искусственных газов заканчивается в пределах камеры ЭХА.

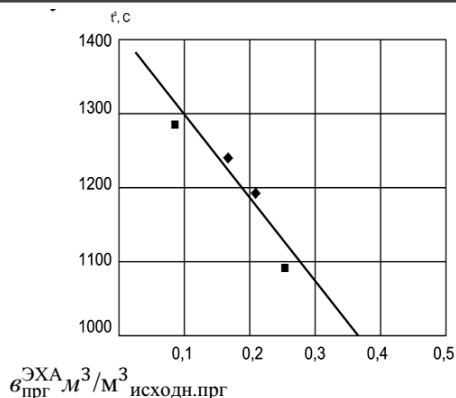


Рисунок 4 – Зависимость температуры ЭХА – газов от удельного расхода природного газа на регенерацию. Линия – расчетные данные, квадратные точки – экспериментальные данные; $q_{\text{ЭХА}} / q_{\text{исходн.прг}}, \text{m}^3/\text{m}^3$ – отношение расхода природного газа на процесс ЭХА к его исходному количеству поступившему в плавильный реактор

Таблица 1 – Составы газов на выходе из реактора ЭХА, в % на сухую массу. Эксперимент/ расчет

№ опыта	$\text{m}^3/\text{m}^3 \text{ог}$	H_2	CO	CO_2	CH_4	N_2	O_2
1	0,1	10,0	9,6	7,4	0,78	70,1	1,2
	0,1	8,70	7,82	8,8	0,0	73,5	0,0
2	0,15	11,6	10,5	6,25	1,80	68,0	1,6
	0,15	12,40	9,3	7,9	0,0	69,8	0,0
3	0,2	16,4	9,4	5,4	1,1	65,5	1,2
	0,2	13,8	9,6	7,7	0,0	67,1	0,0
4	0,25	16,8	10,4	6,6	1,0	63,1	1,25
	0,25	14,4	9,8	7,6	0,0	66,4	0,0

При работе пилотной установки в обычном режиме шлак на выходе из трубчатой печи перегревался, до 950–1000 $^\circ\text{C}$, что приводил к его окомкованию и как следствие к неплановым остановкам установки. В то же время, за счет охлаждения реакторных газов во вращающейся печи, температура подогрева дутья в ВЗП не поднималась выше 300 $^\circ\text{C}$, что вынуждала применения обогащенного до 26–28 % кислородом воздуха. С введением режима ЭХА перегрев шлака на разгрузочном конце вращающейся печи снизился до 850–900 $^\circ\text{C}$, что приостановило окомкование шлака. За счет дожигания ЭХА-газов перед ВЗП температуровоздушного дутья поднималась до 500–550 $^\circ\text{C}$, что создала возможность снизить расход кислорода с 120 $\text{nm}^3/\text{ч}$ до 20 $\text{nm}^3/\text{ч}$.

Рисунок 5 демонстрирует характер изменения температур компонентов плавки в пилотной установке.

Одной из причин недостижения температуры нагрева окислителя в ВЗП до 600°C являлся остывание газов в пылевой камере неизолированным металлическим корпусом. Для будущих установок можно рекомендовать конструкцию без пылевой камеры, так как свободное пространство под ширмами ВЗП может заменить ее. В таком случае можно достичь температуру нагрева дутья в ВЗП до $t \geq 600^{\circ}\text{C}$, таким образом исключить из системы применение кислорода.

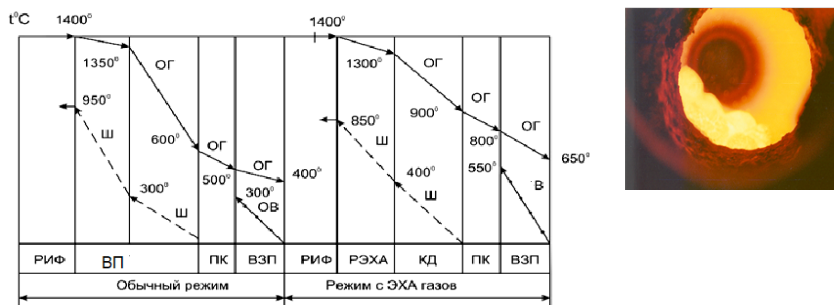


Рисунок 5 – Изменение температурного графика процесса переработки отвального шлака с применением ЭХА газов в режиме $\phi_{\text{прг}}^{\text{ЭХА}} = 0,1$ и картина образования комков во вращающейся печи.

ОГ – отходящие газы, ОВ, В – обогащенный кислородом дутьевой воздух, воздух, Ш – шлак, РИФ – реактор инверсии фаз, ВП – вращающаяся печь, ПК – пылевая камера, КД – камера дожигания ЭХА – газов, РЭХА – реактор ЭХА, ВЗП – воздухоподогреватель

Источники финансирования и признательность

Совместно с ТОО «ОТРАР», при софинансировании РГП «НЦ Комплексная переработка минерального сырья» и Британской компанией «ZincOx» был создан пилотная установка (ПУ) производительностью 1,5 т/ч и проведены эксперименты на 400 тоннах отвальных шлаках. Общая сумма инвестиции составила ~700 000\$ США, при долевом участии партнеров – 0,09:0,19:0,72 соответственно.

Авторы выражают признательность генеральному директору РГП «НЦ КПМС» Жарменову А. А., президенту компании «ZincOx» Ноелу Массону и заведующему лабораторией тяжелых цветных металлов Тельбаеву С. А. за оказанную финансовую и технологическую помощь в проведении экспериментов.

Выводы

1 Разработана термодинамическая модель расчета трансформации физического тепла отходящих газов плавильного реактора в химическую энергию искусственного газа, учитывающий технологические параметры процесса плавки, названной энергохимической аккумуляцией (ЭХА).

2 Экспериментально подтверждена возможность регенерации высокотемпературных отходящих газов плавильного реактора в виде искусственного газа; суммарная удельная теплота горячих ЭХА-газов (физическая и химическая) при $v_{\text{прг}}^{\text{ЭХА}} \cdot \text{м}^3/\text{м}^3_{\text{исх.прг}} = 0,25$ составляет $q_{\Sigma\text{ЭХА}} \sim 6500$ кДж/м³прг, что позволяет использовать его в среднетемпературных процессах, например для подогрева воздуха.

3 Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывают, что термодинамическую модель расчета можно применять для определения состава искусственных газов с точностью до 10–15 %, во вновь разрабатываемых системах переработки цинк-содержащих шлаков.

4 Установлено, что введение режима энергохимической аккумуляции при $v_{\text{прг}}^{\text{ЭХА}} \cdot \text{м}^3/\text{м}^3_{\text{исх.прг}} = 0,1$ снижает температуру шлака на разгрузочном конце вращающейся печи с 950–1000 °С до 850–900 °С и повышает нагрев дутьевого воздуха с 280–300 °С до 500–550 °С, что устраняет окомкование шлака и позволяет сократить расход кислорода почти в шесть раз, с 120 до 20 м³/ч.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Dikhanbaev, B. I., Chandima, G., Dikhanbaev, A. B.** Energy-saving method for technogenic waste processing // Journal PLoS ONE 12(12): e0187790. – San Francisco, California, USA. December 27, 2017. – P. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187790>

2 **Dikhanbaev, B. I., Chandima, G., Dikhanbaev, A. B., Ibray, S.** Development of hydrogen-enriched water gas production technology by processing Ekibastuz coal with technogenic waste // Arcive of mechanical engineering. – Vol. LXV. – 2018. – № 2. – Warszawa, Republic Polska. – doi: 10.24425/123022. [Electronic resource]. – <http://journals.pan.pl/dlibra/journal/97806>.

3 **Рахматулина, А. К., Жумабекова, А. Ж., Диханбаев, А. Б.** Инновационный патент 31572 на изобретение. Способ переработки цинксодержащих шлаков шахтной плавки // Республика Казахстан. опубл. 30.09.2016, бюл. №12. – 4 с. :ил

4 **Диханбаев А. Б., Диханбаев, Б.** Разработка энергосберегающего способа для переработки техногенных отходов // Комплексное использование минерального сырья. – Алматы, 2019. – № 4. – С. 82–92. [Электронный ресурс]. – www.kims-imio.kz

5 **Такежанов, С. Т., Абдеев, М. А., Юсупов А. Н. и др.** Комплексная переработка твердых шлаков свинцовой шахтной плавки. // Ин-т Цветметинформация. – М., 2000. – С.3–5.

6 **Панфилов, П. Ф., Полинская, А. М., Онаев, И. А., Цефт, А. Л., Шумаков, В. В.** Обеднение отвалных шлаков свинцовых заводов карбидом кальция // Ин-т Цветметинформация. – М., 1999. – С. 39–58.

7 **Иванов, Н. И., Гольденберг, И. Б., Литвинов, В. К.** Оптимизация теплоэнергетической системы промпредприятий на основе химической регенерации дымовых газов промышленных печей.// Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции «Проблемы энергетики теплотехнологий». Т. 1. – М., 1983. – С. 80–81.

8 **Юрнев, В. Н., Зубарев, А. В., Алексеев, В. П.** Экспериментальные исследования дожигаания газов с низким содержанием горючих компонентов. // Труды Моск. энерг. ин-та. Выпуск 476. – 2000. – С. 82–85.

9 **Окунев, А. Н., Костьяновский, Н. А., Донченко, П. А.** Фьюмингование шлаков. – М. : Металлургия, 1966. – С. 149.

10 **Диханбаев, Б., Диханбаев, А. Б.** Расчет параметров кипящего слоя расплава для фьюмингования свинцовых шлаков // Труды Международной конференции «Перспективные направления развития химии и химической технологии». – Т. 2. – Шымкент, 1999. – С. 134–136.

11 **Диханбаев, Б.** К расчету характеристик искусственного газа, вырабатываемого из тепловых отходов реактора кипящего слоя расплава // Труды Республиканской научно-практической конференции «Теория и практика интенсификации ресурсо-энергосбережения в химической технологии и металлургии». – Шымкент-Алматы, 2000. – С. 107–109.

REFERENCES

1 **Dikhanbaev, B. I., Chandima, G., Dikhanbaev, A. B.** Energy-saving method for technogenic waste processing // Journal PLoS ONE 12(12): e0187790. – San Francisco, California, USA. December 27, 2017. – P. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187790>

2 **Dikhanbaev, B. I., Chandima, G., Dikhanbaev, A. B., Ibray, S.** Development of hydrogen-enriched water gas production technology by processing ekibastuz coal with technogenic waste // Arcive of mechanical engineering. – Vol. LXV. – 2018. – № 2. – Warszawa, Republic Polska. – doi: 10.24425/123022. [Electronic resource]. – <http://journals.pan.pl/dlibra/journal/97806>

3 **Rakhmatulina, A. K., Zhumabekova, A. Zh., Dikhanbaev, A. B.** Innovatsionnyi patent 31572 na izobretenie. Sposob pererabotki tsinksoderzhashchikh shlakov shakhtnoi pлавки [Innovative patent 31572 for invention. Method for processing

zinc-containing slag from mine smelting] // Respublika Kazakhstan. Published 30.09.2016. – bul. №12–4 s. : il

4 **Dikhanbaev, A. B., Dikhanbaev, B.** Razrabotka energosberegaiushchego sposoba dlia pererabotki tekhnogennykh otkhodov [Development of an energy-saving method for processing industrial waste] // Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syria. –Almaty. 2019, № 4. p.82-92. [Electronic resource]. – www.kims-imio.kz

5 **Takezhanov, S. T., Abdeev, M. A., Iusupov, A. N. i dr.** Kompleksnaia pererabotka tverdykh shlakov svintsovoi shakhtnoi plavki [Complex processing of solid slag from lead mine smelting] // In-t Tsvetmetinformatsiia. – M., 2000. – P. 3–5.

6 **Panfilov, P. F., Polynskaia, A. M., Onaev, I. A., Tseft, A. L., Shumakov, V. V.** Obednenie otvalnykh shlakov svintsovykh zavodov karbidom kaltsiia [Depletion of dump slags from lead plants with calcium carbide] // In-t Tsvetmetinformatsiia. – M., 1999. – P. 39–58.

7 **Ivanov, N. I., Goldenberg, I. B., Litvinov, V. K.** Optimizatsiia teploenergeticheskoi sistemy prompredpriatii na osnove khimicheskoi regeneratsii dymovykh gazov promyshlennykh pechei [Optimization of the heat power system of industrial enterprises on the basis of chemical regeneration of flue gases of industrial furnaces] // Tezisy dokladov Vsesoiuznoi nauchnoi konferentsii «Problemy energetiki teplotekhnologii». Vol 1. – M., 1983. – P. 80–81.

8 **Iurenev, V. N., Zubarev, A. V., Alekseev, V. P.** Eksperimentalnye issledovaniia dozhiganiia gazov s nizkim sodержaniem goriuchikh komponentov. [Experimental studies of the afterburning of gases with a low content of combustible components] // Trudy Mosk.energ.in-ta. Issue 476. – 2000. – P. 82–85.

9 **Okunev, A. N., Kostianovskii, N. A., Dongenko, P. A.** Fiumingovanie shlakov. [Slag fuming] – Moscow : Metallurgii, 1966. – P. 149.

10 **Dikhanbaev, B., Dikhanbaev, A. B.** Raschet parametrov kipiashchego sloia rasplava dlia fiumingovaniia svintsovykh shlakov [Calculation of the parameters of a fluidized bed of a melt for fuming lead slag] // Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii «Perspektivnye napravleniia razvitiia khimii i khimicheskoi tekhnologii». – Vol. 2. – Shymkent, 1999. – P. 134–136.

11 **Dikhanbaev, B. K.** Raschetu kharakteristik iskusstvennogo gaza, vyrabatyvaemogo iz teplovykh otkhodov reaktora kipiashchego sloia rasplava [Calculation of the characteristics of artificial gas produced from thermal waste of a fluidized bed reactor] // Trudy Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Teoriia i praktika intensivatsii resurso-energoberezheniia v khimicheskoi tekhnologii i metallurgii». – Shymkent-Almaty. 2000. – P. 107–109.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*А. Б. Диханбаев¹, Б. И. Диханбаев², М. Б. Кошумбаев³, С. Б. Ыбрай⁴

¹Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

^{2,3}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;

⁴Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ФАЗАЛЫҚ ИНВЕРСИЯЛЫҚ РЕАКТОРДЫҢ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ГАЗДАРЫН ЖАСАНДЫ ГАЗҒА АЙНАЛДЫРУ МӘСЕЛЕСІНЕ

Металлургиялық кәсіпорындардың үйінділерінде 20 миллиард тоннаға жуық өндірістік қалдықтар жиналды, оның 8 миллиарды қара металлургияның, 12 миллиарды түсті металлургияның шлактары. Оларды дәстүрлі әдістермен өңдеу «бай» шикізатты өңдеуге қарағанда 2–3 есе көп энергияны қажет етеді. «Реактор фазасы-айналмалы пеш-ауа жылытқышы» балқыту қондырғысының шлактан мырыш алу үшін жүргізілген тәжірибелік сынаулары энергияның меншікті шығыны бар аналогтармен салыстырғанда 2–3 есе төмен, ал меншікті өнімділік 3–4 есе жоғары екенін көрсетті. Қондырғының кемшілігі: 1) пештің ағызу ұшында қождың қызып кетуі, бұл қождың еруіне, түйіріштелуіне және қондырғының режимінің бұзылуына әкелуі мүмкін; 2) балқыту үшін оттегі пайдалануды қажет ететін ауа қыздырғышқа дейін айналмалы пештің пайдаланылған газдарының төмен температурасы. Бұл кемшілік реактордың пайдаланылған газдарын табиғи газдың қосымша бөлігімен термохимиялық өңдеу әдісін қолдану және ауа қыздырғыштың алдында жасанды газды жағу арқылы жойылды. Нәтижесінде термодинамикалық есептеу моделі ұсынылды және балқыту реакторынан жоғары температуралы пайдаланылған газдарды жасанды газға айналдыру мүмкіндігі тәжірибе жүзінде расталды; газды химиялық регенерациялау режимін енгізу айналмалы пештің ағызу ұшында қождың қызып кетуін азайту үшін де, үрлеу ауасының температурасын қажетті деңгейге дейін көтеру үшін де қолайлы жағдай тудызатыны анықталды, бұл оттегі пайдалануды шектеді.

Кілтті сөздер: есептеудің термодинамикалық моделі, инверсиялық фаза реакторы, фьюминг-қож, мырыш, жасанды газ.

*A. B. Dikhanbaev¹, B. I. Dikhanbaev², M. B. Koshumbaev³, S. B. Ybray⁴

¹G. Daukeev Almaty University of Power Engineering and Communications, Republic of Kazakhstan, Almaty;

^{2,3}S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

⁴D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Material received on 28.02.22.

TO THE ISSUE OF CONVERTING WASTE GASES OF A REACTOR INVERSION PHASE INTO ARTIFICIAL GAS

In dumps of metallurgical enterprises, about 20 billion tons of industrial waste have been accumulated, of which 8 billion are slags from ferrous metallurgy and 12 billion from non-ferrous metallurgy. Processing them by traditional methods requires 2–3 times more energy than processing «rich» raw materials. Experimental tests of the melting unit « reactor phase-rotary kiln-air heater» for the recovery of zinc from slag showed that the specific energy consumption is 2–3 times lower, and the specific productivity is 3–4 times higher than in existing analogues. The disadvantage of the unit is: 1) overheating of the slag at the discharge end of the furnace, which can lead to slag melting, pelletization and disruption of the regime in the installation; 2) the low temperature of the exhaust gases of the rotary kiln, before the air heater, which requires the use of oxygen for melting. This drawback was eliminated by using the method of thermochemical treatment of the reactor off-gases with an additional portion of natural gas and afterburning artificial gas in front of the air heater. As a result, a thermodynamic calculation model was proposed and the possibility of converting high-temperature exhaust gases from a smelter into artificial gas was experimentally confirmed. It has been established that the introduction of the regime of chemical gas regeneration creates a favorable condition both for reducing slag overheating at the discharge end of the rotary kiln and for increasing the temperature of the blast air to the required level, which makes it possible to refuse the use of oxygen.

Keywords: thermodynamic calculation model, reactor inversion phase, fuming slag, zinc, artificial gas.

А. М. Достияров¹, С. Б. Садыкова², *Н. Р. Картджанов³

¹Алматинский университет энергетики и связи

имени Гумарбека Даукеева,

Республика Казахстан, г. Алматы;

^{2,3}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Нур-Султан

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН НА ЭМИССИЮ NOx. ЧАСТЬ 1

В статье проанализировано влияние параметров потока в камере сгорания на эмиссию NOx. Приводится описание механизмов образования оксидов азота, а также исследуется влияние температуры пламени в камере сгорания на уровень термических и мгновенных NOx. Результаты исследования показывают, что полное устранение образования термических NOx не обеспечивают нулевого уровня NOx, в этом случае остаточным NOx является мгновенные NOx. А также показано, что зависимость термических оксидов азота от температуры является экспоненциальной, а образование мгновенных оксидов азота от температуры имеет линейную зависимость при температуре пламени меньше 1950К. Статья может быть интересна исследователям и специалистам в области теплоэнергетики.

Ключевые слова: оксиды азота, камера сгорания, мгновенные NOx, термические NOx, газовая турбина.

Введение

Сжигание углеводородных топлив всегда сопровождается эмиссией токсичных газов, таких как оксиды азота (NOx) и оксид углерода (CO). Концентрация этих выбросов в основном зависит от организации процесса горения, а другие же выбросы являются относительно постоянными и зависят от вида топлива и его содержания.

Выбросы оксидов азота или NOx (NO+NO₂) в атмосфере воздуха в результате фотохимических реакций с химически активными углеводородами образует озон, который является источником фотохимического смога и

токсичен для человека. Озон снижает функцию легких, что вызывает приступы астмы. Связанное с этим снижение поступления кислорода в кровь приводит к проблемам с сердцем из-за увеличения работы сердца. Выбросы NO_2 также напрямую вредны для человека, вызывая снижение функции легких и связанные с этим проблемы с сердцем. Озон также является мощным парниковым газом (в эквиваленте $\text{CO}_2 \times 2000$ в ppmv), что делает NOx вторым по негативному воздействию парниковым газом после углекислого. NOx реагирует в атмосфере с образованием азотной кислоты и, таким образом, способствует повреждению экосистемы кислотными дождями.

CO является продуктом неполного сгорания и определяет эффективность сжигания топлива. Этот газ в организме человека нарушает способность крови доставлять кислород к тканям, вызываются спазмы сосудов, при этом снижается иммунологическая активность человека. Вдыхаемый оксид углерода поступает в кровь, повышает количество сахара в крови, ослабляет подачу кислорода к сердцу.

Следовательно, выбросы NOx и CO играют важную роль во всех текущих проблемах контроля качества воздуха в окружающей среде и, таким образом, подлежат строгому контролю выбросов регулирующими органами по всему миру.

В нашей стране ограничение по выбросам NOx в газотурбинных установках составляет 150 мг/м^3 (75 ppm) при эталонном содержании $\text{O}_2=15\%$ [1]. Согласно Европейской директиве о промышленных выбросах от 2016 года [2] эмиссия NOx не должна превышать 25 ppm или 50 мг/м^3 при $\text{O}_2=15\%$. В большинстве стран мира ограничения по выбросам NOx на таком же уровне. Но в некоторых странах проблема с озоном требует NOx ниже 10 ppm (например, Италия [3]). Этот лимит в Калифорнии достигает менее 2,5 ppm.

В области разработок камер сгорания газотурбинных установок (ГТУ) и горелочных устройств к ним методы и технологии по уровню снижения эмиссий NOx можно условно классифицировать как:

- низкоэмиссионные – $\text{NOx} \leq 50 \text{ ppm}$;
- малоэмиссионные – $\text{NOx} \leq 25 \text{ ppm}$;
- ультра малоэмиссионные (сверхнизкие) – $\text{NOx} \leq 10 \text{ ppm}$.

Согласно [1] уровень CO в газоперекачивающих агрегатах (ГПА) с газовыми турбинами ограничен до 150 ppm при $\text{O}_2=15\%$. Но по требованиям Европейского союза в новых газовых турбинах CO не должно превышать 50 ppm при $\text{O}_2=15\%$. Сегодня Казахстан активно пересматривает свою политику в области охраны окружающей среды. Готовятся к изданию сборники наилучших доступных технологий (НДТ) с обязательным учетом европейского и российского опыта [4].

С каждым годом экологические требования к топливосжигающим устройствам ужесточаются, а многие существующие технологии не обеспечивают эти требования. Поэтому разработка топливо сжигающих устройств с низким уровнем вредных выбросов и с высокой эффективностью сжигания топлива является актуальным вопросом и вызывает большой исследовательский интерес. В рамках данной статьи рассматриваются основные механизмы образования оксидов азота и влияние температуры пламени в камере сгорания на эмиссию NOx. Влияние других параметров потока в камере сгорания на выход оксидов азота будут рассмотрены во второй части данной статьи, выход которой в печать запланирован в следующем номере.

Материалы и методы

В процессах горения существует три источника NOx: термический, быстрый и с топливным азотом. Быстрый NOx – это NOx, который остается после удаления термического и топливного NOx. При сжигании хорошо перемешанных бедных (по отношению к топливу) смесей быстрый NOx обычно составляет <5 ppm. Быстрый NOx важен, поскольку он является причиной остаточного NOx, который не позволяет достичь нулевого уровня NOx. Однако снижение термических NOx почти до нуля является предпосылкой для достижения сверхнизких выбросов NOx ≤ 10 ppm.

Термический NOx образуется в пламени за счет реагирования азота, который содержится в воздухе с кислородом. Его кинетика описывается механизмом Зельдовича:



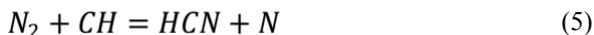
Первые две реакции были впервые определены Зельдовичем [5], а третья реакция была добавлена [6] для учета образования термической NOx в смесях с низкими уровнями атомарного кислорода. В условиях камеры сгорания с малым временем пребывания продуктов горения первая реакция является ограничивающей, поскольку вторая реакция зависит от N, образующегося в первой реакции, при этом не происходит значительной диссоциации газообразного азота при температурах пламени углеводород/воздух. Таким образом, производство NOx ограничено образованием атомарного кислорода путем диссоциации при высоких температурах пламени и константой скорости (1). Следовательно, при сжигании обедненной предварительно

перемешанной топливо-воздушной смеси в газовых турбинах образование термических NOx можно надежно предсказать с помощью (4):

$$\frac{dc_{NO}}{dt} = kc_O c_{N_2} \quad (4)$$

где k – константа прямой скорости, обычно $7,6 \cdot 10^{13} \exp(-38\,000/T)$ см³/ (моль·с).

Быстрые NOx были впервые измерены Фенимором [7] путем прохождения во внутрь пламени и, показав, что вблизи горелки NOx не равняется нулю. Термические NOx должны линейно увеличиваться с осевым расстоянием в пламени из-за увеличения времени пребывания. Экспериментальные данные о пламени показывают, что термическому механизму NOx предшествовала зона быстрого образования NOx, расположенная в области начального развития пламени. Фенимор назвал этот NOx «быстрым/мгновенным» механизмом и дал первое кинетическое объяснение его происхождения, которое включало реакцию между углеводородом, генерируемым CH и N₂, как в уравнении (5):



N продолжает образовывать NOx в соответствии с уравнением (2) термического механизма, а HCN окисляется в обедненных условиях до NO посредством последовательности реакций с участием $HCN \rightarrow CN \rightarrow NCO \rightarrow NO$ [8]. Эта форма мгновенных NOx чувствительна к уровню углеводородов во фронте пламени, который связан с толщиной зоны реакции. Толщина зоны реакции зависит от конструкции стабилизатора пламени, и это является причиной того, что NOx при сжигании предварительно перемешанных смесей сильно зависит от конструкции стабилизатора пламени.

Николь Д. Г. и др. [9] показали, что еще один способ вызвать NO – это N₂O, образующийся в результате реакции N₂ и O, который затем продолжал формировать NO в результате реакции N₂O и O. Наконец, Боцелли Дж. В. и др. [10] показали, что реакция между N₂ и H с образованием NNH также является важным путем к образованию быстрого NO. Все эти кинетические пути образования NOx в дополнение к термическому обычно называют полными кинетическими прогнозами NOx, а полные механизмы NOx включены в схему кинетики NOx GRI и в модели кинетики пламени Chemkin (Chemical Kinetics).

Топливный NOx возникает, когда топливо содержит органические соединения азота и при горении органический азот окисляется до NO. Большое количество топливного азота обычно содержится в угле и жидких топливах, которые в основном сжигаются в котлах и печах. Поэтому в этих устройствах невозможно достичь уровня сокращения NOx такого как в газовых турбинах. Однако решение проблемы с топливным азотом состоит в том, чтобы сначала сжечь топливо в богатой зоне, где органические соединения азота восстанавливаются до N_2 , а затем добавить воздух для получения хорошо перемешанной бедной зоны. Этот метод также снижает термический NOx, но не до низких уровней NOx. Сжигание обогащенной/обедненной смеси также является методом проектирования горелок, который используется для снижения выбросов NOx при почти стехиометрической работе в технологических горелках и котлах.

Природный газ является основным топливом, используемым в промышленных газовых турбинах, и он не имеет топливного азота в составе. Мазут или дизельное топливо имеют низкие уровни топливного азота, обычно порядка 100 ppm, и при этом уровне его оксиды азота будут составлять около 5 ppm при содержании 15 % кислорода в продуктах сгорания. Очевидно, что если топливный азот приближается к 500 ppm в топливе, то в хорошо перемешанных обедненных камерах сгорания весь он преобразуется в NO. Нормативы выбросов NOx в 25 ppm будут обеспечены только за счет топливного азота, и в этом случае невозможно будет ограничить термические или мгновенные выбросы NOx при соблюдении предела NOx в 25 ppm. Так как это нереально, эффективный максимальный уровень азота в топливе составляет около 400 ppm, поскольку это позволило бы просто удовлетворить пределу в 25 ppm, если бы термические и мгновенные NOx не превышали 5 ppm. Обычно в жидком топливе топливный азот содержится от 50 до 200 миллионных частей, что дает около 2-10 ppm NOx при 15 % O_2 . Это является одной из причин, почему при сжигании жидкого топлива трудно достичь сверхнизких уровней NOx.

Результаты и обсуждение

Зависимость NOx от температуры пламени. На рисунке 1 показаны результаты расчетов термических NOx по уравнению (1), выполненных Солом и Альтемарком [11] при сжигании природного газа под давлением 20 бар с диапазоном температур воздуха на входе в камеру горения 500, 750 и 1000 К. Рис.1 показывает, что пиковое образование NOx происходит при коэффициенте эквивалентности $\phi \sim 0,85-0,9$, при котором работает большинство газовых печей и котлов. Это делает хорошо перемешанное сжигание наихудшим условием для генерации NOx для горелок котлов. На рисунке 2 показаны прогнозы равновесных NOx с адиабатической

температурой пламени, выполненные Рокке Н. А. и др. [12]. Имеется существенная разница в коэффициенте эквивалентности для пиковой температуры при $\phi \sim 1,05$ и пикового равновесного NOx при $\phi \sim 0,85$, как и для пиков термических NOx на рис.1. Для образования термических NOx требуются высокие температуры пламени, но также требуется кислород, поэтому пиковое образование NOx не происходит в тех же условиях, что и пиковая температура пламени.

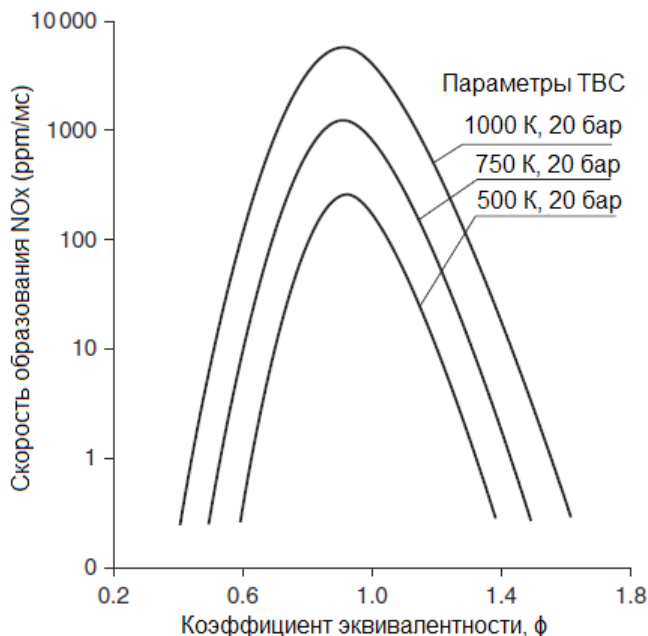


Рисунок 1 – Прогнозы термических NOx для скорости образования NOx при 20 бар и входной температуры 500, 750 и 1000 К [11]

На рис.2 показано, что при температуре воздуха 673 К и температуре пламени 1922 К ($\phi=0,6$) прогнозируемое равновесное значение NOx составило 4300 ppm. Уэйд В.Р. и др. [13] показали, что только для термических NOx потребуется > 1000 мс для достижения равновесного NO для 1922 К при температуре воздуха на входе 811 К, давлении 3 бар и коэффициенте $\phi=0,5$. Газотурбинные камеры сгорания имеют гораздо меньшее время пребывания, чем данный случай. Камера сгорания с длиной 1 м, эталонной скоростью 25 м/с при 700 К имеет время пребывания 15 мс при 1800 К, и, как правило, камеры сгорания короче этого и время пребывания не превышает 10 мс.

Прогнозы на рис.1 при 1922 К и температуре воздуха 750 К ($\phi=0,53$) дают скорость образования термических NOx 0,6 ppm/мс, а для времени пребывания 5 мс это дает 3 ppm термических NOx. Авторы [13] предсказали, что при 1922 К (температура воздуха на входе 811 К и 3 бар) термические NOx будут генерировать 4 ppm NOx через 5 мс. Все эти прогнозы показывают, что общее образование NOx < 10 ppm должно быть закончено до 1950 К при типичном времени пребывания 5 мс для камер сгорания промышленных газовых турбин. Прогнозы показывают, что термический NOx будет < 5 ppm при 1950 К. Однако выбросы NOx будут чувствительны к времени пребывания за счет термического механизма NOx.

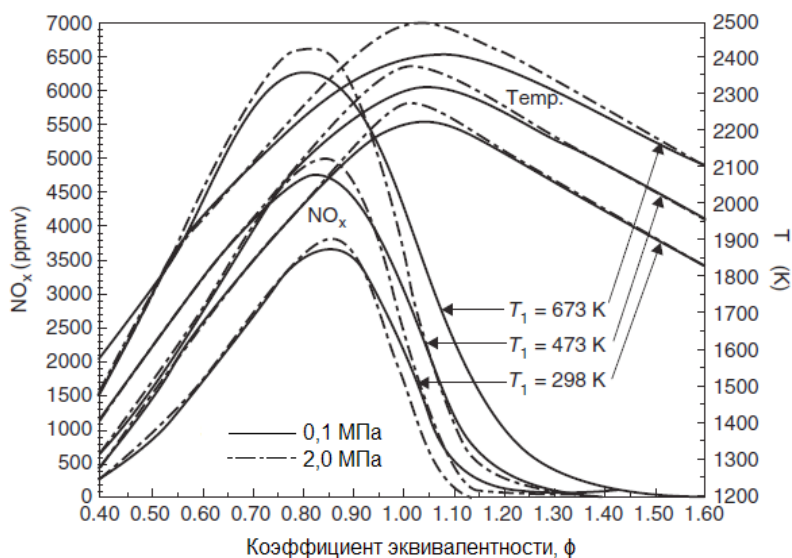


Рисунок 2 – Прогнозы равновесного NOx и адиабатической температуры в зависимости от ϕ для 1 и 20 бар при 298, 473 и 673 К [3]

Термические оксиды азота имеют экспоненциальную зависимость от температуры, это заметно по константе прямой реакции (1). На рис.3 показано моделирование полной кинетики NOx при 10 бар, 600 К и времени пребывания 10 мс [14]. Из графика видно, что при температуре ниже 1950 К NOx прогнозируется < 10 ppm, и большая часть NOx будет образоваться по механизму Фенимора. При более высоких температурах NOx резко увеличивается из-за термического механизма. По рис. 3 можно предположить, что зависимость быстрых оксидов азота от температуры почти линейна. Эти

выводы подтверждаются также результатами экспериментального измерения на рис. 4, где авторы [15] исследовали горение смеси природного газа и водорода в горелке с осевым завихрителем. Водород добавляли для обеспечения устойчивого горения при низких температурах пламени (1200 К), тогда как природный газ имеет стабильное горение 1700 К при атмосферном давлении и 1780 при высоких давлениях. Эти результаты показывают, что NO_x ниже 1 ppm встречается в области 1200–1600 К.

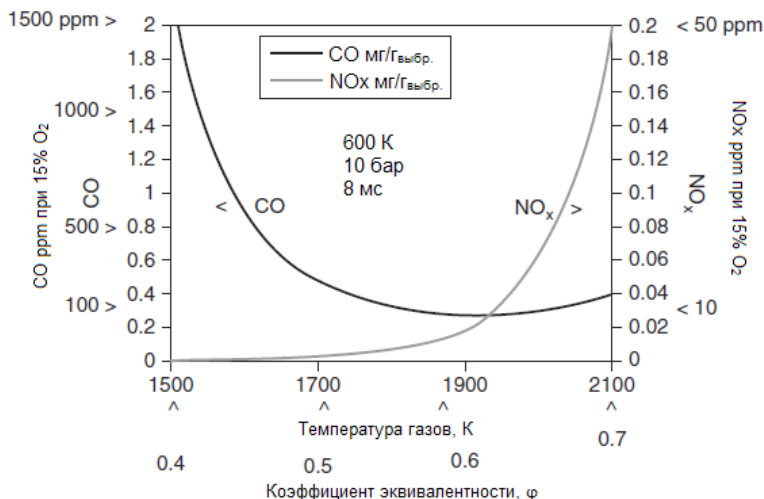


Рисунок 3 – Прогнозы Chemkin с кинетикой GRI выбросов CO и NO_x для температуры на входе 600 К при давлении 10 бар и времени пребывания 8 мс [3]

2 Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза №2008/50/ЕС от 21 мая 2008 г. о качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки в Европе.

3 **Andrews, G. E.** Ultra-low nitrogen oxides (NO_x) emissions combustion in gas turbine systems. Editor(s): Peter Jansohn, In Wood head Publishing Series in Energy, Modern Gas Turbine Systems, Wood head Publishing, 2013. – P. 715–790.

4 **Ким, В. М.** О гармонизации промышленного развития и улучшении экологической обстановки через НДТ в Казахстане // Вестник ЕНУ имени Л. Н. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. – 2020. – № 4(133). – С. 129–135.

5 **Zeldovich, Ya. B.** The oxidation of nitrogen in combustion explosions. ACTA Physiochimica, XXI. – No. 6 (1946).

6 **Lavoie, G. A., Heywood, J. B., Keck, J. C.** Experimental and theoretical study of nitric oxide formation in internal combustion engines // Combustion science and technology. – 1970. – №1. – P. 313–326.

7 **Fenimore, C. P.** Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames // Thirteenth Symposium (Int.) on Combustion, The Combustion Institute. – 1971. – P. 373–380.

8 **Lefebvre, A. H.** The role of fuel preparation in low emissions combustion // ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 1995. – №117. – P. 617–654. – ASME Paper 95-GT-465

9 **Nicol, D. G., Malte, P. C., Lai, J., Marinov, N. N., Pratt, D. T.** NO_x sensitivities for gas turbine engines operated on lean premixed combustion and conventional diffusion flames // Proceedings of the ASME 1992 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition. – Cologne, Germany. June 1–4, 1992. – №V003T06A012. ASME Paper 92-GT-115.

10 **Bozzelli, J. W., Antony, M.** O+NNH: Possible new route for NO_x formation in flames // International Journal of Chemical Kinetics. – 1995. – № 27(11). – P. 1097–1109.

11 **Saul and Altemark, D.** Lean-burn premixed combustion in gas turbine combustors // Gas Warne International. – 1991. – № 40. – 336 p.

12 **Rokke, N. A., Hustad, J. E., Berg, S.** Pollutant emissions from gas fired turbine engines in offshore practical: measurements and scaling // Proceedings of the ASME 1993 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition. – Cincinnati, Ohio, USA. May 24–27, 1993. – V03AT15A021. ASME Paper 93-GT-170.

13 **Wade, W. R., Shen, P. I., Owen, C. W., Mclean, A. F.** Low emission combustion for the regenerative gas turbine Pt.1 – theoretical and design considerations // Journal of Engineering for Power. – 1974. – №1(96). – P. 32–48. – ASME Paper 73-GT-11.

14 **Rokke, P. E., Hustad, J. E., Rokke, N. A., Svendsgaard, O. B.** Technology update on gas turbine dual fuel, dry low emissions combustion systems // Proceedings of the ASME Turbo Expo 2003, collocated with the 2003 International Joint Power Generation Conference. – Atlanta, Georgia, USA. June 16–19, 2003. – Vol. 2. – P. 97-107. ASME Paper GT2003–38112.

15 **Littlejohn, D., Cheng, R. K., Noble, D. R., Lieuwen, T.** Laboratory investigations of low-swirl injectors operating with syngas // Proceedings of the ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea, and Air. – Berlin, Germany. June 9–13, 2008. – Vol. 3. – P. 1001-1010. – ASME Paper GT2008–51298.

REFERENCES

1 GOST 28775-90. Agregaty gazoperekachivayushchiye s gazoturbinnym privodom. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya. [Gas compressor units with gas turbine drive. General specifications.] – Moscow : Standartinofrm, 2005. (s dopolneniyami po sostoyaniyu na 06.04.2015 g.)

2 Direktiva Yevropeyskogo Parlamenta i Soveta Yevropeyskogo Soyuzu №2008/50/YES ot 21 maya 2008 g. o kachestve atmosfernogo vozdukha i merakh yego ochistki v Yevrope. [Directive of the European Parliament and of the Council of the European Union No. 2008/50/EC of May 21, 2008 on air quality and measures for its purification in Europe.]

3 **Andrews, G. E.** Ultra-low nitrogen oxides (NO_x) emissions combustion in gas turbine systems. Editor(s): Peter Jansohn, In Wood head Publishing Series in Energy, Modern Gas Turbine Systems, Wood head Publishing, – 2013. – P. 715–790.

4 **Kim, V. M.** O garmonizatsii promyshlennogo razvitiya i uluchshenii ekologicheskoy obstanovki cherez NDT v Kazakhstane [On the harmonization of industrial development and improvement of the environmental situation through BAT in Kazakhstan] // Vestnik YENU im. L.N.Gumileva. Seriya: Tekhnicheskiye nauki i tekhnologii. – 2020. – № 4(133). – P. 129–135.

5 **Zeldovich, Ya. B.** The oxidation of nitrogen in combustion explosions. ACTA Physiochimica, XXI. – No. 6 (1946).

6 **Lavoie, G. A., Heywood, J. B., Keck, J. C.** Experimental and theoretical study of nitric oxide formation in internal combustion engines // Combustion science and technology. – 1970. – № 1. – P. 313–326.

7 **Fenimore, C. P.** Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames // Thirteenth Symposium (Int.) on Combustion, The Combustion Institute. – 1971. – P. 373–380.

8 **Lefebvre, A. H.** The role of fuel preparation in low emissions combustion // ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. –1995. – № 117. – P. 617-654. – ASME Paper 95-GT-465

9 Nicol, D. G., Malte, P. C., Lai, J., Marinov, N. N., Pratt, D. T. NOx sensitivities for gas turbine engines operated on lean premixed combustion and conventional diffusion flames // Proceedings of the ASME 1992 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition. – Cologne, Germany. June 1–4, 1992. – №V003T06A012. ASME Paper 92-GT-115.

10 Bozzelli, J. W., Antony, M. O+NNH: Possible new route for NOx formation in flames // International Journal of Chemical Kinetics. – 1995. – № 27(11). – P. 1097–1109.

11 Saul and Altemark, D. Lean-burn premixed combustion in gas turbine combustors // Gas Warne International. – 1991. – № 40. – 336 p.

12 Rokke, N. A., Hustad, J. E., Berg, S. Pollutant emissions from gas fired turbine engines in offshore practical: measurements and scaling // Proceedings of the ASME 1993 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition. – Cincinnati, Ohio, USA. May 24–27, 1993. – V03AT15A021. ASME Paper 93-GT-170.

13 Wade, W. R., Shen, P. I., Owen, C. W., Mclean, A. F. Low emission combustion for the regenerative gas turbine Pt.1 – theoretical and design considerations // Journal of Engineering for Power. – 1974. – № 1(96). – P. 32–48. – ASME Paper 73-GT-11.

14 Rokke, P. E., Hustad, J. E., Rokke, N. A., Svendsgaard, O. B. Technology update on gas turbine dual fuel, dry low emissions combustion systems // Proceedings of the ASME Turbo Expo 2003, collocated with the 2003 International Joint Power Generation Conference. – Atlanta, Georgia, USA. June 16–19, 2003. – Vol. 2. – P. 97–107. – ASME Paper GT2003–38112.

15 Littlejohn, D., Cheng, R. K., Noble, D. R., Lieuwen, T. Laboratory investigations of low-swirl injectors operating with syngas // Proceedings of the ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea, and Air. – Berlin, Germany. June 9–13, 2008. – Vol. 3. – P. 1001–1010. – ASME Paper GT2008–51298.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*А. М. Достияров¹, С. Б. Садыкова², *Н. Р. Картджанов³*

¹Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика

және байланыс университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

^{2,3}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ГАЗТУРБИНАЛАРЫНЫҢ ЖАНУ КАМЕРАСЫНДАҒЫ АҒЫН ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ NO_x ЭМИССИЯСЫНА ӘСЕРІ

Мақалада жану камерасындағы ағын параметрлерінің NO_x эмиссиясына әсері анализденеді. Азот оксидінің түзілу механизмдерінің сипаттамасы келтіріледі, сондай-ақ термиялық және жылдам NO_x деңгейіне жану камерасындағы жалын температурасының әсері зерттеледі. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, термиялық NO_x түзілуін толығымен жою NO_x-тің нөлдік деңгейін қамтамасыз етпейді, бұл жағдайда қалдық NO_x жылдам NO_x болып табылады. Сондай-ақ, термиялық азот оксидтерінің температураға тәуелділігі экспоненциалды, ал жылдам азот оксидтерінің түзілуі жалынның температурасы 1950 К-нен төмен кезде сызықтық тәуелділікке ие екендігі көрсетілген. Мақала жылу энергетика саласындағы зерттеушілер мен мамандардың қызығушылығын тудырады.

Кілтті сөздер: азот оксиді, жану камерасы, жылдам NO_x, термиялық NO_x, газ турбинасы.

A. M. Dostiyarov¹, S. B. Sadykova², *N. R. Kartjanov³

¹Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Republic of Kazakhstan, Almaty;

^{2,3}L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 28.02.22.

EFFECT OF FLOW PARAMETERS IN GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBER ON NO_x EMISSION

The article analyzes the influence of flow parameters in the combustion chamber on NO_x emission. The mechanisms description of formation of nitrogen oxides is given, as well as the effect on the level of thermal and prompt NO_x of flame temperature in the combustion chamber is investigated. The study results show that the complete elimination of thermal NO_x formation does not provide a zero level of NO_x, in this case the residual NO_x is prompt NO_x. It is also shown that the dependence of thermal nitrogen oxides on temperature is exponential, and the formation of prompt nitrogen oxides on temperature has a linear dependence at a flame temperature of less than 1950 K. The article may be of interest to researchers and specialists in the field of thermal power engineering.

Keywords: nitrogen oxides, combustion chamber, instantaneous NO_x, thermal NO_x, gas turbine.

<https://doi.org/10.48081/UKDL7179>***А. В. Дробинский¹, Д. С. Уразалимова², Л. Н. Кириченко³**^{1,2,3}Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

МОБИЛЬНАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Одним из путей снижения загрязнения окружающей среды является использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Из всех ныне существующих альтернативных источников энергии наиболее выгодным является – энергия воды.

Интенсивное освоение гидроэнергетического потенциала рек Казахстана, дало толчок к ускоренному развитию гидроэнергетического строительства. Однако, строительство крупных гидроэлектростанций (ГЭС) привело к огромному ущербу для сельского хозяйства и природы. В связи с этим и проблемами, имеющимися в топливно-энергетических комплексах, большое значение придается развитию малой энергетики, использующей нетрадиционные источники энергии, а именно, энергию малых рек. При современных подходах к использованию энергии малых рек и водотоков имеются широкие возможности для строительства мини- и малых ГЭС.

В статье дано описание работы и показана конструкция всесезонной мини ГЭС, мобильность которой обеспечивается ее плавучестью, что позволяют транспортировать ее по воде к месту установки для эксплуатации. Конструкция обеспечивает эффективное использование энергии потока воды. Установка может быть использована как экологически чистый альтернативный источник энергии для электроснабжения бытовых потребителей на территориях, вблизи рек.

Ключевые слова: источники энергии, гидроэнергетика, малая энергетика, мобильная установка, конструкция, электроснабжение.

Введение

Одними из главных причин, обуславливающих развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) являются сохранение запасов собственных

энергоресурсов для нужд будущих поколений и сохранение окружающей среды [1].

Наряду со значительными запасами ископаемого органического топлива Республика Казахстан обладает обширными запасами возобновляемых ресурсов и источников энергии (солнечной, ветровой, гидравлической, геотермальной, энергии биомассы и твердых бытовых отходов, водородной и др. альтернативной энергетики).

Выставка ЭКСПО-2017, прошедшая в Астане под лозунгом «Энергия будущего» имела конкретные цели [4]. Исследовать новые технологии в энергоснабжении и стимулировать использование ВИЭ, показать необходимость и осуществление эффективного использования энергетических ресурсов.

Гидроэнергетика рассматривается правительством РК как один из векторов развития энергетики страны в целом [3]. Явным преимуществом ее является стабильность выработки энергии.

В балансе энергетических ресурсов Казахстана следует гидроэнергетический потенциал оценивается в 162,9 млрд. кВт. ч и соизмерим с Россией, гидроэнергетический потенциал которой оценивается в 850 млрд. кВт. На территории республики имеется 2174 реки, суммарная длина которых составляет 83,1 тыс. км [4].

Река Иртыш, водно-энергетический ресурс которой равен 19,8 млрд. кВт. ч., с многоводными правобережными притоками составляет основу гидроэнергетической сети Казахстана.

Всеми электростанциями республики в первом полугодии 2021 года было выработано 57 325,4 млн кВт·ч, что на 7,1 % больше аналогичного периода 2020 года.

Объем производства электроэнергии объектами ВИЭ (солнечные и ветровые электростанции, малые ГЭС, биогазовые станции) в Казахстане за январь-июнь 2021 года составил 2005,5 млн кВт·ч. В сравнении с периодом январь-июнь 2020 года (1470 млн кВт·ч) прирост составил 1,4 % [5].

Более широкое использование гидроэнергетических установок (ГЭУ) малой и средней мощности в РК ограничивается отсутствием самих конструкций ГЭУ. В статье дано описание одной из нестандартных конструкций мобильной всесезонной ГЭУ, эффективно использующую энергию потока воды.

Материалы и методы

Фундаментальные положения электротехники, электрических машин, статьи/технические науки, патенты, сравнительный анализ, конструирование.

Результаты и обсуждения

Передовые государства в целях устойчивого развития национальных экономик, а также решения растущих проблем изменения климата усиливают политику энергоэффективности производств и увеличивают долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансе.

На данный момент использование ВИЭ активно развивается в Европе, где страны вынуждены закупать топливо для работы традиционных электростанций. В Германии, Италии, Испании и Великобритании 30–40 % энергии вырабатывается из ВИЭ, а в Норвегии с учетом гидроэнергетики, около 97 % электроэнергии добывается из альтернативных источников.

Крупнейшие страны мира отказываются от топлива и добывают электричество из воды, солнца и ветра. Более 170 стран запланировали использование возобновляемых источников энергии, 150 из них внедрили политику стимулирования инвестиций в чистую энергию.

Одним из путей снижения загрязнения окружающей среды является использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Из всех ныне существующих альтернативных источников энергии наиболее выгодным является – энергия воды. К примеру, ветер – непостоянный. Выработка электроэнергии солнечными батареями – дорого и только в светлое время.

Гидроэнергетические ресурсы Казахстана наиболее активно изучались в 60-е годы Каз.НИИ Энергетики. Результаты исследований были обобщены и сведены в монографию «Водно-энергетический кадастр рек Казахской ССР», изданную в 1965 году под общей редакцией академика Ш.Ч. Чокина. Были исследованы все реки республики длиной более 10 км, которых оказалось 2174 суммарной длиной 83250 км. Число рек длиной от 10 до 50 км составляет 1889 (86,9 %) , от 50 до 100 км – 130 (6,0 %), более 100 км – 155 (7,1 %). Суммарный запас гидравлической энергии составляет 172,6 млрд.кВт или 19,6 млн.кВт среднегодовой мощности [6].

Еще одним аргументом в пользу ВИЭ является то, что в условиях огромной территории (2,7 млн. км²) и низкой плотности населения Казахстана (5,5 чел/км²), значительные потери электрической энергии при ее транспортировке удаленным потребителям. По территории республики гидроэнергетические ресурсы распределены крайне неравномерно. Например, на Восточную часть (бассейн Иртыша – ВКО, Семипалатинская и Павлодарские области) приходится 72,06 млрд. кВт·ч или 41,8 %. С недавнего времени Казахстан постепенно стал переходить на использование альтернативной энергетики, но пока еще в малых масштабах. Преимущество отдается использованию гидроэнергетического потенциала малых рек из-за низкой капиталоемкости и экологической чистоты. В свою очередь, использование возобновляемой

энергетики может снизить затраты на энергоснабжение удаленных населенных пунктов и строительство линий электропередачи.

Суммарный гидроэнергетический потенциал рек бассейна Бухтармы составляет около 19 млрд. кВт·ч, в то время как потенциал р. Иртыш равен 19,8 млрд. кВт·ч. Таким образом, Казахстан имеет большие перспективы в развитии гидроэнергетики. Однако, строительство крупных ГЭС привело к огромному ущербу для сельского хозяйства и вообще природы: земли выше плотин подтоплялись, ниже – падал уровень грунтовых вод, терялись огромные пространства земли, уходившие на дно гигантских водохранилищ, прерывалось естественное течение рек, загнивала вода в водохранилищах, падали рыбные запасы и т.д. На горных реках все эти минусы сводились к минимуму, зато добавлялся еще один: в случае разрушения плотины, катастрофа могла привести к тысячам человеческих жертв. Эти минусы ГЭС породили идею «мини-ГЭС», которые могут располагаться на небольших реках или даже ручьях, их электрогенераторы будут работать при небольших перепадах воды или движимые лишь силой течения. Эти же мини-ГЭС могут быть установлены и на крупных реках с относительно быстрым течением. При современных подходах к использованию энергии малых рек и водотоков имеются широкие возможности для строительства мини- и малых ГЭС.

Иртыш является одной из крупнейших рек Казахстан. Его длина с учетом Черного Иртыша составляет 4248 км. Его бассейн охватывает территорию в 1.595.680 квадратных километров. Маленьким горным ручейком начинается Иртыш на ледниковых склонах в Китае на высоте 2500 метров над уровнем моря, в далекой и сказочной Джунгарии – Западной части КНР.

Выходя из озера Зайсан, ниже по течению горный вид Иртыша прерывается каскадом крупных гидроэлектростанций (Бухтарминской, Шульбинской, Усть-Каменогорской и других). В прошлом планировалось построить целый каскад из 13 крупных ГЭС. До самого Омска должны были протянуться водохранилища. Но этим планам не суждено было сбыться. Уже существующие гидроэлектростанции оказывают большое влияние на уровень Иртыша. Большой водозабор для них, а также на хозяйственные нужды приводит к неуклонному понижению уровня воды в реке. Выходя из гор, река Иртыш вступает в необозримую сухую Казахстанскую степь.

В наших широтах Иртыш – тихая и спокойная река. Скорость течения 0,5–1,5 метра в секунду. Незначительная скорость течения реки связана с небольшим уклоном реки. В низовьях половодье с конца мая до сентября, максимум в июне. 50 % годового стока проходит весной, в верховьях доля стока летом и осенью по 20 %, зимой 10 %. Средний расход у Усть-Каменогорска 628 м³/сек, Семипалатинска около 960 м³/сек, Омска 919 м³/сек, годовой сток в устье около 95 км³. Воды Иртыша используются для питания канала

Иртыш — Караганда (забор воды из Иртыша в канал в среднем 75 м³/сек), для водоснабжения и орошения.

Общее количество, воды проносимой рекой за год, равно 29 кубических километров. В последние годы в районе города Павлодара сплошной ледостав не наблюдается, так как в результате сброса промышленных вод в черте города образуется промоина, не замерзающая даже в тридцатиградусные морозы.

В статье дано описание одной из нестандартных конструкций мобильной гидроэнергетической установки, позволяющей максимально использовать энергию потока воды для выработки электрической энергии [7].

На рисунках 1 и 2 показаны виды мобильной гидроэнергетической установки, соответственно, при зимнем и летнем вариантах работы. Поворотно-опорный механизм установки и элементы крепления оборудования на платформе с понтонами позволяют устанавливать ось вращения и лопастную турбину в горизонтальное или вертикальное положение.

Корпус установки (гидроэлектростанции) содержит вертикальные стержни 1, скрепленные горизонтальными стержнями 2, к горизонтальным стержням 2 прикреплены клиновые обтекатели 3 и 4. между обтекателями размещена полуцилиндрическая полость 5. Корпус посредством стержней 1 прикреплен к платформе 6 с понтонами 7. На платформе 6 имеется горизонтальная полость 8, стойки крепления 9 опорно-поворотного механизма 10 и опорная подшипниковая стойка 11, с возможностью поворота вдоль или поперек горизонтальной полости 8. В опорно-поворотном механизме 10 с возможностью вращения закреплена ось 12 лопастной турбины 13 с подшипниками 14, 15. На оси 12 жестко закреплена муфта 16, соединенная с редуктором 17. Редуктор 17 посредством муфты 18 соединен с электрическим генератором 19. Лопасти 20 турбины 13 изогнуты против течения потока воды, установлены равномерно по периферии между двумя дисками 21 жестко закрепленными на оси 12. Между клиновыми обтекателями 3 и 4 стержнями 22 прикреплен упорный подшипниковый узел 23. Пункт подключения приемников электрической энергии 24 соединен с электрическим генератором 19 кабелем 25.

Гидроэлектростанция работает следующим образом. При зимнем варианте работы ось 12 лопастной турбины 13 устанавливается в вертикальное положение (рис. 1), при этом турбина размещается ниже нижней кромки возможного ледяного покрова. Поток воды поступает на изогнутые лопасти 20 и на клиновой обтекатель 3. Обтекателем 3 увеличивается скорость потока воды, набегающего на лопасти 20, в рабочей части турбины 13, в которой направление вращения турбины совпадает с направлением движения потока воды. В нерабочей части турбины лопасти вращаются против направления течения воды в реке. В этой части турбины наличие обкателя 3

и полуцилиндрической полости 5 снижает скорость течения воды, а изогнутый профиль концов лопастей уменьшает ее лобовое сопротивление [8].

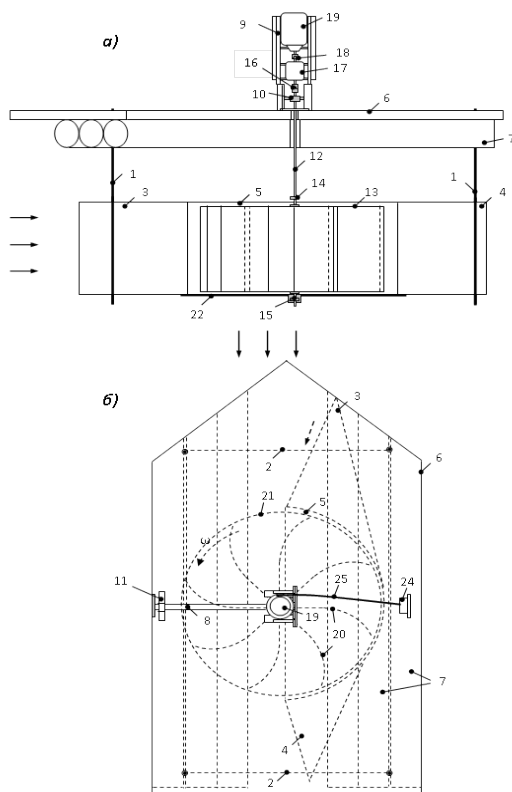


Рисунок 1 – Мобильная гидроэнергетическая установка при зимнем варианте: а) – вид сбоку, б) – вид сверху

В рабочей части турбины 13 силы основного потока воды и потока воды направляемого клиновым обтекателем 3 действуют согласно по всей длине изогнутых лопастей 20. Возникающие силы создают вращающий момент на оси 12, приводя ее во вращение. Наличие обтекателей, полуцилиндрической полости и изгиб концов лопастей по ходу вращения, приводит к повышению полезного использования энергии потока воды в рабочей части турбины.

При летнем варианте работы гидроэлектростанции (рис. 2) ось 12 лопастной турбины 13, редуктор 17 и электрический генератор 19 устанавливаются в горизонтальное положение. Турбина 13 находится в

вертикальном положении, и поток воды воздействует на лопасти 20, лишь во время их нахождения в водной среде. После выхода из воды на лопасти воздействует воздушная среда, тормозящее действие которой незначительное [9]. Эффективность преобразования энергии потока воды в полезную работу при летнем варианте работы гидроэлектростанции выше, вследствие меньшего тормозящего действия воздушной среды на лопасти.

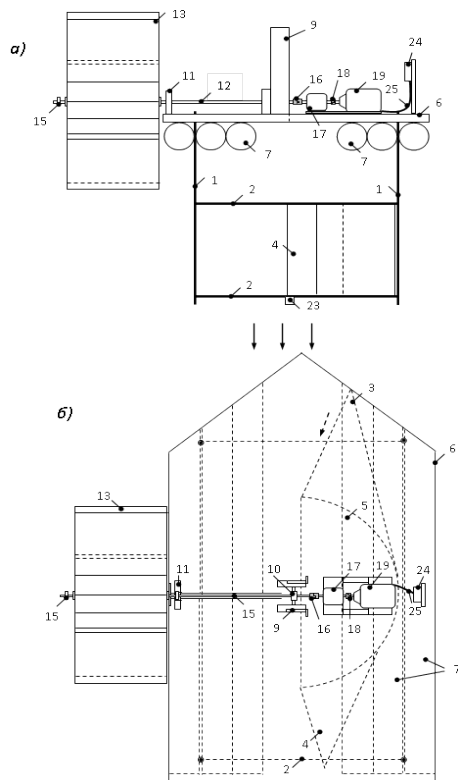


Рисунок 2 – Мобильная гидроэнергетическая установка при летнем варианте: а) – вид сбоку, б) – вид сверху

Мобильность гидроэлектростанции обеспечивается ее плавучестью, что позволяют транспортировать ее по воде к месту установки для эксплуатации. Размещение оборудования на платформе, над уровнем воды, создает удобства для обслуживания. В месте дислокации платформу гидроэлектростанции необходимо закрепить якорями и тросами [10].

Для изготовления гидроэлектростанции используются не дорогостоящие материалы и изделия заводского изготовления. Преимущество использования предлагаемой гидроэлектростанции заключается в максимальном использовании энергии потока воды, в ее мобильности, в эффективной выработке электрической энергии в летних и зимних погодных условиях, в простоте конструкции, низкой стоимости, применении изделий заводского изготовления.

Выводы

Мобильная всесезонная гидроэнергетическая установка может быть использована как экологически чистый альтернативный источник энергии для электроснабжения бытовых потребителей на территориях, вблизи рек и иных водотоков.

Гидроэнергетическая установка обеспечивает выработку электрической энергии в летних и зимних погодных условиях

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Городов, Р. В., Губин, В. Е., Матвеев А. С.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – Томск : ТПУ, 2009. – 294 с.

2 Энергия будущего главная тема ЭКСПО-2017. 16.05.2019. [Электронный ресурс]. – <http://vechastana.kz/politika/energiya-budushchego-glavnaya-tema-ekspo-2017>.

3 Стратегия «Казахстан–2050». 20.12. 2012. [Электронный ресурс]. – <https://primeminister.kz/ru/gosprogrammy/strategiya-kazahstan-2050>.

4 Гидроэнергетические ресурсы Казахстана. [Электронный ресурс]. – <https://leg.co/ua/arhiv/raznoe-arhiv/tnergetika-kazahstana-12.html>.

5 Малая ГЭС для большого региона [Электронный ресурс]. – https://forbes.kz/process/energetics/malaya_ges_dlya_bolshogo_regiona/

6 Калачев, Н. С., Лаврентьева, Л. Д. Водноэнергетический кадастр рек Казахской ССР : (потенциальные ресурсы) / под общ. ред. акад. Ш. Ч. Чокина. – Алма-Ата : Наука, 1965. – 707 с.

7 Пат. 27339 РК. Речная гидроэлектростанция / Дробинский А. В., Смазнева Н. О., Саворовский В. С.: опубл. 16.09.2013, бюл. № 9. – 5 с.

8 Энергетика Казахстана [Электронный ресурс] <https://www.kegoc.kz/ru/electric-power/elektroenergetika>

9 Гидротурбины. Классы, системы, типы. [Электронный ресурс]. – <https://allofenergy.ru/7-printsip-raboty-ges>.

10 Направления развития электроэнергетики Казахстана : Гидроэнергетика [Электронный ресурс]. – <https://eenergy.media/2021/10/12/napravleniya-razvitiya-elektroenergetiki>.

REFERENCES

- 1 **Gorodov, R. V., Gubin, V. E. Matveev, A. S.** Netradicyonye i vozobnovlyaemye istochniki energii [Non-traditional and renewable energy sources]. – Tomsk : TPU, 2009. – 294 p.
- 2 Energiya budushego glavnaya tema Expo – 2017. 16.05.2019 [The energy of the future is the main theme of EXPO - 2017. 16.05.2019]. [Electronic resource]. – <http://vechastana.kz/politika/energiya-budushchego-glavnaya-tema-ekspo-2017/>
- 3 Strategia «Kazakhstan -2050» 20.12. 2012. [Strategy «Kazakhstan-2050». 20.12. 2012]. [Electronic resource]. – <https://primeminister.kz/ru/gosprogrammy/strategiya-kazahstan-2050>.
- 4 Gidroenergeticheskie resursy Kazakhstana [Hydropower resources of Kazakhstan]. [Electronic resource]. – <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/tnergetika-kazahstan-12.html>.
- 5 Malaya GES dlya bolshogo regiona [Small hydroelectric power station for a large region] [Electronic resource]. – https://forbes.kz/process/energetics/malaya_ges_dlya_bolshogo_regiona/
- 6 **Kalachev, N. S., Lavrenteva, L. D.** Vodoenergeticheskiy kadastr rek SSR : (potencialnye resursy) [Water-energy cadastre of the rivers of the Kazakh SSR : (potential resources)] / pod obch. red. akad. Sh. Ch. Chokina. Alma-Ata: Nauka, -1965g. – 707c.
- 7 Pat. 27339 RK. Rechnaya gidroelectrostanciya [River hydroelectric power plant]/ Drobinskiy A.V., Zmazneva N.O., Savorovsky V. S. – Publ. 16.09.2013. – No. 9. – 5p.
- 8 Energetika Kazakhstana [Energy of Kazakhstan] [Electronic resource]. – <https://www.kegoc.kz/ru/electric-power/elektroenergetika>
- 9 Gidroturbiny. Klassy, sistemy, tipy [Elektronyi resurse] [Hydraulic turbines. Classes, systems, types] [Electronic resource]. – <https://allofenergy.ru/7-printsip-raboty-ges>
- 10 Napravleniya razvitiya electroenergetiki Kazakhstana : Gidroenergetika [Elektronyi resurse] [Directions of development of Kazakhstan's electric power industry : Hydropower] [Electronic resource]. – <https://eenergy.media/2021/10/12/napravleniya-razvitiya-elektroenergetiki>.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*А. В. Дробинский¹, Д. С. Уразалимова², Л. Н. Кириченко³

^{1,2,3}Торайгыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

МОБИЛЬДІ ГИДРОЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫ

Қоршаған ортаның ластануынан азайтатын жолдарының бірі дәстүрлі емес жаңартылатын энергия көздерін пайдалану болып табылады. Барлық қолданыстағы баламалы энергия көздерінің ішіндегі ең тиімдісі – су энергиясы.

Қазақстан өзендерінің гидроэнергетикалық өрісін қарқынды игеру гидроэнергетикалық құрылыстың жедел дамуына серпін берді. Алайда, ірі су электр станцияларын (ГЭС) салу, ауыл шаруашылығы мен табиғатқа үлкен зиян келтірді. Осыған және отын-энергетикалық кешендердегі проблемаларға байланысты дәстүрлі емес энергия көздерін атап айтқанда шағын өзендердің энергиясын пайдаланатын шағын энергетиканы дамытуға үлкен мән беріледі. Шағын өзендер мен су ағындарының энергиясын пайдаланудың қазіргі заманғы тәсілдерінде шағын ГЭС салу үшін үлкен мүмкіндіктер бар.

Бұл мақалада жұмыстың сипаттамасы және барлық маусымды шағын ГЭС құрылымы көрсетілген, оның ұтқырлығы жүзгіштігімен қамтамасыз етіледі, бұл оны пайдалану үшін орнату орнына сумен тасымалдауға мүмкіндік береді. Оның конструкциясы су ағынының энергиясын тиімді пайдалануды қамтамасыз етеді. Қондырғы өзендерге жақын аумақтардағы тұрмыстық тұтынушыларды электрмен жабдықтау үшін экологиялық таза балама энергия көзі ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: энергия көздері, гидроэнергетика, шағын энергетика, мобильді қондырғы, конструкция, электрмен жабдықтау.

*A. V. Drobinskiy¹, D. S. Urazalimova², L. N. Kirichenko³

^{1,2,3}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 28.02.22.

MOBILE HYDROPOWER PLANT

One of the ways to reduce environmental pollution is the use of unconventional renewable energy sources. Of all the currently existing alternative energy sources, the most profitable is water energy.

The intensive development of the hydropower potential of the rivers of Kazakhstan gave impetus to the accelerated development of hydropower construction. The construction of large hydroelectric power plants led to enormous damage to agriculture and nature. In connection with the problems existing in the fuel and energy complexes, great importance is given to the development of small-scale power engineering, using non-traditional energy sources, namely, the energy of small rivers. With modern approaches to using the energy of small rivers and watercourses, there are ample opportunities for the construction of mini and small hydroelectric power plants.

The article describes the work and shows the design of an all-season mini hydroelectric power station, the mobility of which is ensured by its buoyancy, which makes it possible to transport it by water to the installation site for operation. The design ensures efficient use of the energy of the water flow. The unit can be used as an environmentally friendly alternative source of energy to supply household consumers in areas near rivers.

Keywords: energy sources, hydropower, small-scale power engineering, mobile unit, structure, power supply.

***Ж. Б. Исабеков¹, Б. Б. Исабекова², А. Б. Жантлесева³,
А. М. Акаев⁴**

^{1,2,4}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

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

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ

В статье предоставлен анализ видов заземления нейтралей, который показал, что наиболее перспективными и эффективными в техническом и экономическом плане является совместное использование дугогасящего реактора (ДГР) и резистора. Также было обнаружено, что данный способ заземления нейтрали достаточно эффективен. В нормальном режиме к нейтральной точке сети подключен ДГР с системой автоматической настройкой и компенсации емкостного тока. При замыкании на землю реактор компенсирует периодическую составляющую емкостного тока и снижает величину перенапряжений. Для определения и отключения места повреждения параллельно реактору кратковременно либо постоянно подключается резистор. Таким образом, при дуговых замыканиях на землю, будут проявляться все положительные стороны ДГР, а при металлическом замыкании на землю параллельно ДГР подключается резистор для срабатывания защиты от замыкания на землю. В нормальном режиме к нейтральной точке сети подключен ДГР с системой автоматической настройкой и компенсации емкостного тока. Также переход от режима изолированной нейтрали к заземлению через резистор дает наибольший эффект при металлических однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Резистивное заземления нейтрали позволяет ликвидировать феррорезонансные явления; снизить уровень дуговых перенапряжений; избежать быстрого отключения первого однофазного замыкания на землю в сети при высокоомном заземлении нейтрали.

Ключевые слова: Сети с изолированной нейтралью, однофазное замыкание на землю, дугогасящий реактор, кабельные сети.

Введение

При проектировании электрической сети 6–10 кВ выбор главной схемы является определяющим и зависящим от нескольких факторов [1,2,3]. Именно в это время определяется полный состав элементов и связей между ними. В свою очередь главная схема представляет собой совокупность основного электрооборудования в виде генераторов, трансформаторов, линий, сборных шин и коммутационной аппаратуры со всеми соединениями между ними [4]. При этом всегда опираются основной фактор в виде экономической целесообразности при минимизации допустимого количества высоковольтного электрооборудования. Это вызвано тем, что именно высоковольтное оборудование является наиболее дорогим и требует значительных площадей для его установки. Другим не менее важным фактором, определяющим конфигурацию кабельных электрических сетей 6–10 кВ, является место расположения источников питания (ИП) и потребителей электроэнергии (ПЭ) и их категория, определяющая надежность электроснабжения. Основным документом, регламентирующим режим работы нейтрали является ПУЭ [5]. В соответствии с разделом п. 1.2.16 предусматривается работа электрических сетей 6–10 кВ как с изолированной, так и с заземленной через дополнительные устройства нейтралью.

Материалы и методы

Сети с изолированной нейтралью отличает простота исполнения. Пример кабельной сети с изолированной нейтралью приведена на рисунке 1 (ключи К1 и К2 разомкнуты). В тоже время сетям с изолированной нейтралью характерны перенапряжения, возникающие при ОЗЗ. Их два вида. Первые возникают из-за возрастания в $\sqrt{3}$ раза напряжение неповрежденных фаз относительно земли. Вторые является следствием феррорезонансных процессов из-за наличие емкостей фаз относительно земли при различных видах коммутации. Особенно при работе вакуумных выключателей. В этом случае перенапряжение могут достигать $5-7 U_H$, где U_H – номинальное линейное напряжение. Эти перенапряжения нередко сопровождается пробоем изоляции неповреждённых фаз и электрической дугой. Что может привести к более тяжелому междофазному короткому замыканию и к повреждению трансформаторов напряжения. При этом значительно возрастает опасность поражения обслуживающего персонала переменным током.

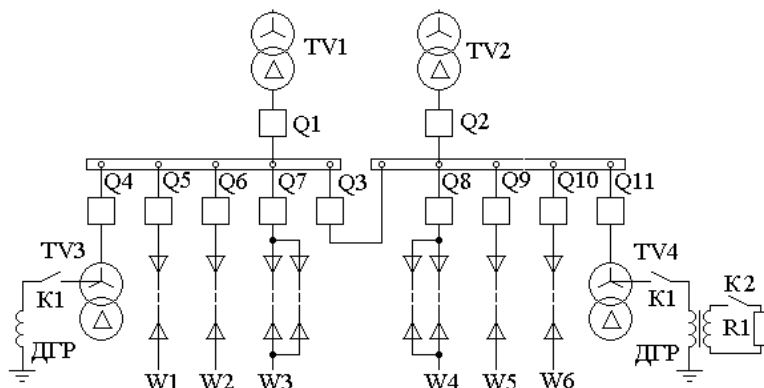


Рисунок 1 – Пример схемы кабельной сети с изолированной нейтралью и возможностью подключения компенсирующих устройств

Токи ОЗЗ в основном определены величиной емкостей проводников кабелей относительно земли. В соответствии с [5] они невелики и не превышают 20–30 А. Именно по этому при ОЗЗ допускается работа сети в течении двух часов. Считается, что этого вполне достаточно для выявления поврежденного элемента.

Что касается величины опасного для электрической машины тока при ОЗК, то единого мнения по этому поводу в мировой практике нет. Вместе с тем опасным для электрической машины следует считать ток, длительное протекание которого в месте ОЗК вызывает значительный местный разогрев и ускоренное разрушение изоляции. Так по [5] за допустимый следует принимать ток в 1–1,5 А. По [7] опасным током для электрических машин считается ток больший или равный 5 А.

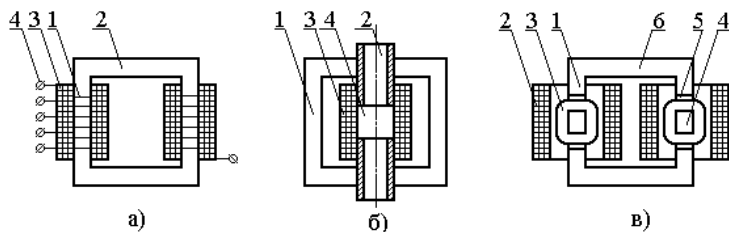
Однако в сетях с изолированной нейтралью крупных промышленных предприятий токи ОЗЗ могут достигать 50–80 А. В этом случае использование режима работы с изолированной нейтралью в кабельных сетях нежелательно. В связи с этим для компенсации емкостных токов следует использовать дугогасящие реакторы (ДГР). На рисунке 1 это достигается замыканием ключей К1.

Дугогасящий реактор представляет собой индуктивность в виде электрического аппарата для компенсации емкостных токов в кабельной сети.

В результате ДГР позволяет устанавливать ток в точке ОЗЗ практически равным нулю. Что обеспечивает надежное гашение дуги в точке замыкания и электрическую безопасность людей при растекании по земле токов замыкания. В этом случае сеть может работать при наличии ОЗЗ продолжительное время.

По конструкции все типы ДГР напоминают конструкцию масляного трансформатора, но различаются исполнением магнитной системы. Основные конструкции магнитной системы [8] приведены на рисунке 1.5. В результате ДГР можно разделить на устройства с распределенным воздушным зазором магнитопровода, с магнитопроводом плунжерного типа и с поперечным подмагничиванием магнитопровода.

ДГР с распределенным воздушным зазором показан на рисунке 1.5 а. Он способен обеспечить линейный характер вольтамперных характеристик реактора. Это достигается за счет нескольких воздушных промежутков 1 в сердечнике 2 ДГР. Регулировка индуктивного сопротивления ДГР ступенчатая. Для чего обмотка 3 имеет ответвления 4. Недостаток этих реакторов заключается в том, что изменение настройки производят вручную при отключении ДГР от сети.



а – с воздушным зазором; б – магнитной системой; в – поперечным подмагничиванием магнитопровода

Рисунок 2 – Конструкции дугогасящих реакторов

ДГР с магнитопроводом плунжерного типа позволяет осуществлять плавное регулирование индуктивного сопротивления. Конструкция его магнитной системы показана на рисунке 1.5 б. Она имеет сердечник 1 и перемещающиеся стержни 2 типа плунжеров внутри обмотки 3, с помощью которых плавно регулируется воздушный зазор 4. Перемещение стержней осуществляется с помощью электродвигательного привода дистанционно. Что дает возможность, обеспечивать плавное дистанционное регулирование сопротивления ДГР без отключения его от сети и автоматизировать процесс компенсации емкостных токов. Это означает, что всякое изменение архитектуры кабельной сети, сопровождающееся изменением емкостного сопротивления, приводит соответствующему изменению индуктивного сопротивления ДГР и сохраняет резонансную настройку [9]. Однако изменение воздушного зазора требует некоторого времени. Поэтому ДГР с магнитопроводами плунжерного типа имеют ограничение по быстродействию.

Конструкция ДГР с поперечным подмагничиванием магнитопровода приведена на рисунке 2, в. В таких ДГР магнитопровод 1 выполнен двухстержневым. На каждом стержне размещаются основная обмотка 2 и обмотка подмагничивания 3. Оси обмоток 3 подмагничивания повернуты на 90° относительно осей основных обмоток 2. Размещение подмагничиваемых участков магнитопровода осуществляется основных обмоток. Подмагничивание осуществляют постоянным током, величину которого устанавливает автоматический регулятор. Магнитный поток от переменного тока в основной обмотке 2 замыкается через подмагничиваемые участки стержней 4, воздушные зазоры 5 и ярма 6. Магнитный поток от постоянного тока в обмотке подмагничивания ориентирован поперек магнитного тока основной обмотки.

Функциональная схема автоматического регулирования резонансной настройки кабельной сети показана на рисунке 3. Она содержит подключенный к нейтрали трансформатора собственных нужд (ТСН) дугогасящий реактор ДГР и автоматическую систему регулирования (АСР). ДГР комплектуется сигнальной обмоткой (СО), встроенным трансформатором тока (ТТ) и преобразователем тока подмагничивания (ПТ). В АСР входит генератор переменной частоты (ГПЧ) и блок блокировки (ББ), блок измерения (БИ) и схему определения частоты резонанса (ОЧР), блок деления и вычисления тока (БД) и блок долговременной памяти (БДП), пропорционально-интегральный регулятор (ПИР) и блок формирования управляющих импульсов (БФУИ), блок сопряжения (БС) и блок предварительного подмагничивания (БПП). Необходимую информацию о состоянии сети АСР получает от СО и ТТ, а также с обмотки «открытый треугольник» измерительного трансформатора напряжения НТМИ.

Автоматическая система регулирования (рисунок 3) работает следующим образом. В нормальном режиме работы сети при отсутствии ОЗЗ реактор ДГР подмагничивается стабилизированным постоянным током от БПП. АСР находится в режиме измерения ожидаемого емкостного тока замыкания на землю. При этом от генератора ГПЧ через блок ББ и сигнальную обмотку СО в нейтраль сети подается напряжение переменной изменяемой в диапазоне от 20 до 80 Гц частоты. В процессе изменения частоты генератора ГПЧ блоком ОЧР определяется резонансная частота. После этого блок БД вычисляет значение ожидаемого тока по соответствующей формуле. При возникновении ОЗЗ последнее вычисленное значение считается порогом регулирования ПИР. Оно запоминается в блоке БДП. ПИР обеспечивает подмагничивание реактора с помощью блока БФУИ в соответствии с определенным значением емкостного тока сети, откорректированным в соответствии с напряжением на нейтрали в блоке БДП.

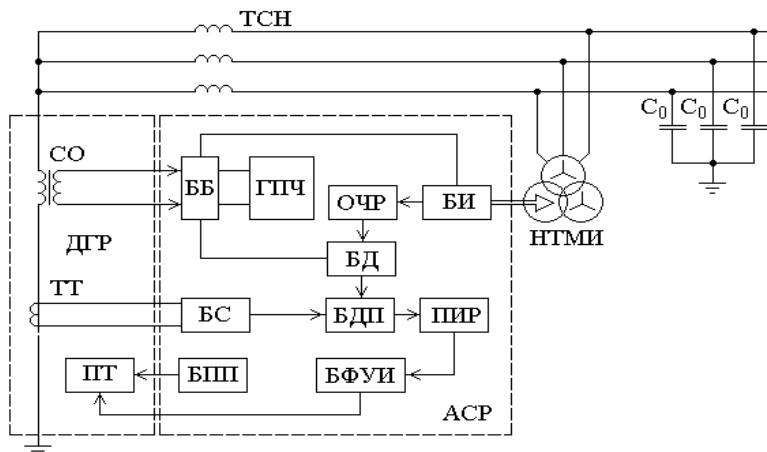


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматического регулирования

При возникновении ОЗЗ генератор ГПЧ отключается от сигнальной обмотки СО реактора ДГР блоком ББ, последнее значение емкостного тока запоминается блоком БДП. Одновременно на БФУИ от регулятора ПИР поступает сигнал управления, соответствующий рассогласованию между измеренным ранее током сети и текущим током реактора, получаемым с выхода блока БС.

В первый же момент времени после замыкания ток реактора благодаря предварительному подмагничиванию устанавливается близким к номинальному, а остаточное рассогласование сводится к нулю регулятором ПИР соответствующим углом открытия тириستоров встроенного преобразователя ПТ. Этим обеспечивается скорейший выход реактора в резонансный режим. По достижении требуемого значения тока реактора, равного зафиксированному ранее току емкостного контура сети, сигнал рассогласования на регулятор ПИР становится нулевым. При этом параметры резонансной настройки поддерживаются до исчезновения или ликвидации персонала ОЗЗ.

Использование ДГР с АСР позволяет обеспечить малый остаточный ток ОЗЗ (не более 1–2 А), а следовательно, отсутствует необходимость в немедленном отключении ОЗЗ. Таким образом, заземление через ДГР следует использовать тогда, когда в сети высок риск появления дуговых ОЗЗ. При этом исключается повреждение измерительных трансформаторов из-за феррорезонансных процессов, а наличие фиксированного значения

остаточного тока позволяет правильно организовать селективную работу устройств релейной защиты от ОЗЗ.

Для получения нейтральной точки используют специальные трансформаторы или незначительно загруженные трансформаторы собственных нужд. Способы подключения ДГР приведены на рисунке 1.

Однако при значительной расстройке компенсации емкостных токов возможно возникновение дуговых перенапряжений. Согласно ПТЭ [10], при эксплуатации дугогасящих реакторов допускается расстройка компенсации не более 5 %. Если этих параметров по разным причинам выдержать не удастся, то следует использовать ДГР с шунтирующим низковольтным резистором или резистивное заземления нейтрали.

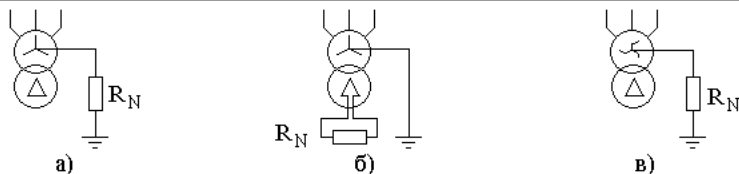
Схема подключения ДГР с шунтирующим низковольтным резистором приведена на рисунке 1, где для их подключения замыкают ключи К1 и К2.

Схема подключения резисторов в нейтраль осуществляется с помощью специального заземляющего трансформатора как показано на рисунке 4. Известно несколько вариантов такого подключения. Так на рисунке 4, а резистор подключается к нейтральной точке незначительно загруженного трансформатора собственных нужд также как ДГР. Иногда практикуется глухое подключение нейтрали заземляющего трансформатора к контуру заземления с подключением резистора R_N во вторичную обмотку, которая соединена по схеме «разомкнутый треугольник» как показано на рисунке 4,б. Значительно реже заземление резистором осуществляется с помощью отдельного трансформатора в режиме холостого хода с соединением его обмотки высокого напряжения по схеме «зигзаг» как показано на рисунке 4,в.

Результаты и обсуждение

Возможны высокоомный и низкоомный варианты резистивного заземления нейтрали. При низкоомном заземлении нейтрали резистор выбирается исходя из условия обеспечения селективности защит от ОЗЗ. Подключать его к нейтрали можно только через специальный заземляющий трансформатора, как это показано на рисунке 4,в.

Заземление с помощью высокоомного резистора используют в сетях с током ОЗЗ не более 10 А. Что существенно ограничивает область его применения. Варианты включения высокоомного резистора показаны на рисунке 4.



а – соединение к нейтральной точке; б – соединение по схеме «разомкнутый треугольник»; в – соединение по схеме «зигзаг»

Рисунок 4 – Способы резисторного заземления нейтрали

Выводы

Резистивное заземления нейтрали позволяет ликвидировать феррорезонансные явления; снизить уровень дуговых перенапряжений; избежать быстрого отключения первого ОЗЗ в сети при высокоомном заземлении нейтрали. Однако такое заземление не приводит к уменьшению тока в месте повреждения при ОЗЗ, а также требует использования резисторов с высокой мощностью рассеивания. Тем не менее переход от режима изолированной нейтрали к заземлению через резистор дает наибольший эффект при металлических ОЗЗ. Резистивное заземления нейтрали позволяет ликвидировать феррорезонансные явления; снизить уровень дуговых перенапряжений; избежать быстрого отключения первого ОЗЗ в сети при высокоомном заземлении нейтрали. Однако такое заземление не приводит к уменьшению тока в месте повреждения при ОЗЗ, а также требует использования резисторов с высокой мощностью рассеивания.

Тем не менее переход от режима изолированной нейтрали к заземлению через резистор дает наибольший эффект при металлических ОЗЗ.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Novozhilov, A., Issabekov, Zh. and Novozhilov, T. Configurations of 6-10 kV cable lines and types of cable damages. The conference ICIEAM IEEE Conference Publications. – Chelyabinsk, 2016. – Vol. 1. – P. 1.

2 Bogdan, A. V., Kletsel’M, Y., & Nikitin, K. I. Adaptive back-up overcurrent protection for tapped lines with single-end fud // Электричество. – 1991. – 2. – С. 51–54.

3 Issabekov, Zh. B., Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A. and Issabekova, B. B. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan // Series of Geology and Technical Sciences. – 2018. – 5. – С. 128–132.

4 **Идельчик, В. И.** Электрические системы и сети: – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 592 с.

5 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2013 г. / Госэнергонадзор. – М.: КНОРУС, 2013. – 488 с.

6 **Чернобровов, Н. В., Семенов, В. А.** Релейная защита энергетических систем: учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, - 1998. – 800 с.

7 **Костров, М. Ф., Соловьев, И. И., Федосеев, А. М.** Основы техники релейной защиты. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1944. – 436 с.

8 **Лихачев, Ф. А.** Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек. – М.: «Энергия», 1971. – 152 с.

9 **Брянцев, А. М.** Управляемые подмагничиванием электрические реакторы: сб. ст. – М.: Знак, 2004. – 264 с.

10 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003. – 392 с.

REFERENCES

1 **Novozhilov, A. , Issabekov, Zh. and Novozhilov, T.** Configurations of 6-10 kV cable lines and types of cable damages. The conference ICIEAM IEEE Conference Publications, Chelyabinsk, 2016. – Vol. 1. – P. 1.

2 **Bogdan, A. V., Kletsel'M, Y., & Nikitin, K. I.** Adaptive back-up overcurrent protection for tapped lines with single-end fud. Elektrichestvo. – 1991. – 2. – P. 51–54.

3 **Issabekov, Zh. B., Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A. and Issabekova, B. B.** News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan // Series of Geology and Technical Sciences. – 2018. – 5. – P. 128–132.

4 **Idel'chik, V. I.** Jelektricheskie sistemy i seti [Electrical systems and networks]. – Moscow : Jenergoatomizdat, 1989. – 592 p.

5 Pravila ustrojstva jelektroustanovok. Vse dejstvujushhie razdely shestogo i sed'mogo izdanij s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 1 janvarja 2013 g. / Gosjenergonadzor. [Rules of electrical installations. All current sections of the sixth and seventh editions with amendments and additions as of January 1, 2013 / Gosenergonadzor] – Moscow : KNORUS, 2013. – 488 p.

6 **Chernobrovov, N. V., Semenov, V. A.** Relejnaja zashhita jenergeticheskikh sistem : ucheb. posobie dlja tehnikumov. [Relay protection of energy systems : textbook. manual for technical schools.] – Moscow : Jenergoatomizdat, 1998. – 800 p.

7 **Kostrov, M. F., Solov'ev, I. I., Fedoseev, A. M.** Osnovy tehniki relejnoj zashhity. [Fundamentals of relay protection technology] – M.-L. : Gosjenergoizdat, 1944. – 436 p.

8 **Lihachev, F. A.** Instrukcija po vyboru, ustanovke i jekspluatacii dugogashhiih katushek. [Instructions for the selection, installation and operation of arc-extinguishing coils.] – Moscow : «Jenergija», 1971. – 152 p.

9 **Brjancev, A. M.** Upravljaemye podmagnichivaniem jelektricheskie reaktory: sb. st. [Magnetization-controlled electric reactors: sat. art] – M. : Znak, 2004. – 264 p.

10 **Pravila tehničeskoj jekspluatacii jelektroustanovok potrebitelej / Gosjenergonadzor Minjenergo Rossii.** [Rules of technical operation of electrical installations of consumers / Gosenergonadzor of the Ministry of Energy of Russia] – Moscow : ZAO «Jenergoservis», 2003. – 392 p.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*Ж. Б. Исабеков¹, Б. Б. Исабекова², А. Б. Жантілєсова³, А. М. Ақаев⁴

^{1,2,4}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-сұлтан қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

БЕЙТАРАП РЕЖИМДЕРДІҢ СИПАТТАМАЛЫҚ БЕЛГІЛЕРІ

Мақалада бейтарапты жерге қосу түрлерін талдау қарастырылған, бұл техникалық және экономикалық тұрғыдан ең перспективалы және тиімді болып доғалы реактор (ДР) мен резисторды бөлу болып табылады. Сондай-ақ, бұл бейтарап жерге қосу әдісі өте тиімді екендігі анықталды. Қалыпты режимде ДР автоматты түрде баптау және сыйымды токты өтеу жүйесімен желінің бейтарап нүктесіне қосылған. Жерге тұйықталған кезде реактор сыйымдылық тогының периодты компонентін өтейді және артық кернеуді азайтады. Зақымдану орнын анықтау және ажырату үшін реакторға параллель резистор қысқа уақытқа немесе тұрақты түрде қосылады. Осылайша, доғалық жерге тұйықталу кезінде ДР-нің барлық оң жақтары пайда болады, ал металл жерге тұйықталу кезінде жерге тұйықталудан қорғауды іске қосу үшін резистор ДР-ге параллель қосылады. Қалыпты режимде ДР автоматты түрде баптау және сыйымды токты өтеу жүйесімен желінің бейтарап нүктесіне қосылған. Сондай-ақ, оқшауланған бейтараптық режимінен резистор арқылы жерге қосу жерге металл бір фазалы жерге тұйықталу кезінде үлкен әсер береді. Нейтралды резистивті жерге қосу феррорезонанс құбылыстарын жоюға мүмкіндік береді; доға кернеулігінің деңгейін

томендету; нейтралды жоғары жерге қосу кезінде желідегі бірінші бір фазалы жерге тұйықталудың тез өшуіне жол бермеу.

Кілтті сөздер: оқшауланған бейтарап желілер, бір фазалы жерге тұйықталу, доға сөндіргіш реактор, кабельдік желілер.

*J. B. Issabekov¹, B. B. Issabekov², A. B. Zhanlessova³, A. M. Akaev⁴

^{1,2,4}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 28.02.22.

CHARACTERISTIC FEATURES OF NEUTRAL OPERATING MODES

The article provides an analysis of the types of neutral grounding, which showed that the most promising and effective in technical and economic terms is the joint use of an arc-extinguishing reactor (AER) and a resistor. It was also found that this method of grounding the neutral is quite effective. In normal mode, a AER with a system for automatic adjustment and compensation of capacitive current is connected to the neutral point of the network. In case of a ground fault, the reactor compensates for the periodic component of the capacitive current and reduces the magnitude of overvoltages. To determine and disconnect the damage site, a resistor is connected in parallel to the reactor for a short time or permanently. Thus, in case of arc earth faults, all the positive sides of the AER will manifest themselves, and in case of a metal earth fault, a resistor is connected in parallel to the AER to trigger the earth fault protection. In normal mode, a AER with a system for automatic adjustment and compensation of capacitive current is connected to the neutral point of the network. Also, the transition from the isolated neutral mode to grounding through a resistor gives the greatest effect in the case of single-phase earth faults. Resistive grounding of the neutral allows to eliminate ferroresonance phenomena; to reduce the level of arc overvoltages; to avoid rapid disconnection of the first single-phase earth fault in the network with high-resistance grounding of the neutral.

Keywords: Networks with isolated neutral, single-phase earth fault, arc-extinguishing reactor; cable networks.

<https://doi.org/10.48081/RMTZ9769>***А. Б. Кадыржан**

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы

РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА Г. АЛМАТЫ

Тема загрязнения воздуха, особенно с точки зрения твердых частиц (взвешенные вещества), является очень серьезной проблемой в современном обществе. Эта проблема вызвана такими факторами, как лесные пожары, строительство, индустриализация и постоянно увеличивающееся количество автомобилей. Таким образом, PM_{2,5} стал важным фактором риска для жителей города Алматы, а также во всем мире не только с точки зрения проблем, связанных с риском для здоровья, но и негативного влияния на имидж страны. Целью этой работы является разработка беспилотного летательного аппарата, оснащенного датчиками газа для мониторинга и сбора данных о качестве воздуха в режиме реального времени. Предлагаемый беспилотный летательный аппарат имеет возможность измерения концентрации следующих видов газа в составе воздуха: монооксида углерода (CO), озона (O₃), диоксида азота (NO₂), нитрида водорода (NH₃), PM и диоксида серы (SO₂). Кроме того, собранные данные передаются на сервер по беспроводному соединению в двух этапах (по радиочастотному каналу от передатчика к приемнику, даже с приемника на смартфон по беспроводному сети Bluetooth Low Energy на смартфон).

Ключевые слова: загрязнение воздуха, беспилотный летательный аппарат, экологический мониторинг, контроль качества воздуха, датчики газа.

Введение

Дроны, также называемые беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), разрабатывались со времен Первой мировой войны. Дрон Curtiss N2C-2 был разработан в 1937 году ВМС США. В 1941 году Реджинальд Денни запустил

радиоуправляемый самолет ОQ-2 как первый серийный беспилотник, который будет использоваться в армии. С тех пор беспилотные летательные аппараты или БПЛА нашли применение в различных военных целях. Сегодня БПЛА разрабатываются для доставки грузов, съемки спортивных матчей с воздуха и для многих других целей [1, 6, 7].

Измерение качества воздуха важно для обеспечения того, чтобы широкая общественность, правительственные учреждения и любые заинтересованные стороны знали о состоянии загрязнения. Это также важно для подсказки необходимых мер предосторожности для обеспечения безопасности населения. Согласно отчету Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 7 миллионов человек ежегодно умирают по причинам, связанным с загрязнением воздуха. Загрязнение воздуха в городах стало серьезной экологической проблемой во многих азиатских странах из-за их быстрого промышленного развития, урбанизации и автомобилизации. Загрязнение твердыми частицами (PM), такими как PM_{2,5}, вызывает озабоченность из-за их воздействия на здоровье и изменение климата. Казахстан - государство с добывающей и перерабатывающей промышленностью, темпы развития которых неуклонно растут. В эксплуатацию вводятся крупные промышленные объекты, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду и ухудшают экологию Казахстана в целом [2]. Среди загрязняющих веществ атмосферного воздуха наибольшим отрицательным воздействием на здоровье обладают взвешенные вещества или твердые частицы. Алматы является примером развивающегося азиатского мегаполиса, имеющего проблему загрязнения твердыми частицами. По проведенному анализу заболеваемости населения города Алматы болезнями органов дыхания и уровня загрязнения воздуха твердыми частицами за период 2013–2017 гг. установлен рост первичной заболеваемости населения города Алматы болезнями органов дыхания, наибольшее число случаев по всем возрастным группам приходится на острый бронхит [3].

Цель данной работы – создать систему, которая поможет исследователям окружающей среды и другим сторонам, заинтересованным в мониторинге качества воздуха. Кроме того, он должен предоставить исследователям необходимые инструменты для визуализации и анализа собранных данных с помощью удобных интерфейсов. Система будет собирать и передавать данные о качестве воздуха в режиме реального времени и обеспечивать прямую трансляцию в центр управления. Целью данного исследования является разработка беспилотного квадрокоптера, оснащенного датчиками качества воздуха, которые позволят ему собирать данные и передавать их, а также предоставить простую и удобную платформу для наблюдения и визуализации всех собранных данных измерения. В этой статье мы предлагаем беспилотный

летательный аппарат в виде дрона для мониторинга загрязнения воздуха в режиме реального времени.

Первая работа по разработке беспилотного летательного аппарата, способного к удаленному обнаружению газа, была проведена России и Брунелли [4, 8]. Целью их исследования является использование беспилотных летательных аппаратов в качестве инструмента для определения качества воздуха.

Концепция представляет собой беспилотный летательный аппарат с неподвижным крылом, дистанционно управляемый с помощью радиоконтроллера. Использовался БПЛА Green Falcon Kit с размахом крыльев 2,52 м и полезной нагрузкой 3 кг. Время полета 1 час было достигнуто за счет установки батареи большой емкости и интеграции солнечных элементов для повышения энергоэффективности. Используемые датчики имели точность $\pm 0,26$ ppm. Программное обеспечение автопилота Ardupilot Mega 2.5 было установлено в контроллере полета в режиме автопилота (APM). Ardupilot Mega поддерживает траектории полета, установленные до взлета, а затем может отслеживать маршрут автономно, обеспечивая ручное управление в чрезвычайных ситуациях, благодаря чему можно принудительно использовать ручное управление. О сборе данных с помощью квадрокоптера первоначально сообщили Вилла и др. [5]. Они использовали пользовательскую систему измерения для мониторинга качества воздуха и загрязнения воздуха. Квадрокоптер является основным ядром их системы и оснащен датчиками для обнаружения газов, например, O_2 и CO_2 , по вертикали и горизонтали, а также давления, температуры и влажности. Общий вес составляет 1,4 кг, включая первоначальный вес квадрокоптера. Наземная станция управляется человеком-контроллером, а квадрокоптер обменивается данными по беспроводной связи через канал 433 МГц. Установка питалась от батареи 5 Ач 12 В, которая обеспечивает время полета 20 минут и максимальную скорость 8 м/с. Установка была протестирована, и данные для CO_2 и O_2 были собраны в разных местах с различным давлением воздуха, чтобы определить характеристики датчиков по отношению к давлению воздуха. Эта система считается быстрой, точной и доступной измерительной системой для мониторинга и измерения уровней CO_2 и O_2 и позволяет экологам быстро собирать и анализировать измеренную информацию.

В данной работе предлагается беспилотный летательный аппарат в виде квадрокоптера, который собирает данные о загрязнении с помощью датчиков качества воздуха. Также в данной работе предлагается концепция устройства которая может быть установлена к любому летательному аппарату для зондирования воздушного бассейна определенной местности. Вместе с тем прорабатывается концепция системы обработки и визуализации полученных данных для публичного доступа.

Материалы и методы

Концепция представляет собой беспилотный летательный аппарат с неподвижным крылом, дистанционно управляемый радиоаппаратурой, работающей на частоте 2.4 ГГц. Система анализа качества воздуха разделяется на два электронных устройства, т. е. передатчик и приемник. Для анализа качества воздуха окружающей среды применяются датчики твердых частиц PM2.5, монооксид углерода CO, двуокись NO₂, оксид серы SO₂, нитрид водорода NH₃ [9, 10]. Показания датчиков обрабатывает микроконтроллер STM32F103C8, который в свою очередь передает данные на базу (приемник) с помощью радиомодуля nrf24l01. Все электронные узлы системы питаются от аккумулятора на 1000 мАч с выходом 5 В. Система также имеет приемную сторону (далее база), которая принимает данные с БПЛА и визуализирует полученные данные. База содержит радиомодуль nrf24l01, Bluetooth модуль esp32, также смартфон для отображения полученных данных. Функциональная схема системы представлена на рисунке 1, а описание датчиков приведено в таблице 1.

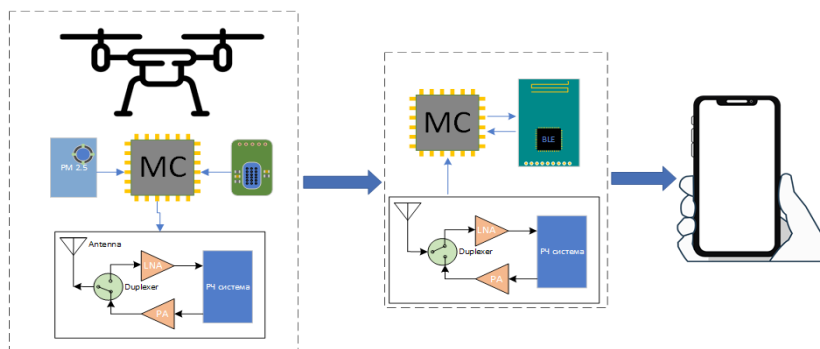


Рисунок 1 – Функциональная схема системы

Результаты и обсуждение

Принцип работы комплекса следующая. При включении питания, датчики PMS5003 (датчик частиц PM2.5) и MICS – 6814 (CO(), NO₂(), NH₃()), которые детектирует газы передают показания на микроконтроллер, микроконтроллер поочередно принимает и обрабатывает все полученные данные. После обработки, микроконтроллер передает показания датчиков на базу, посредством передачи данных по радиоканалу. Радиоканал осуществляется при помощи радиомодуля nrf24l01. Показания, переданные по радиоканалу, принимаются на базе при помощи приемного радиомодуля nrf24l01. Микроконтроллер приемной базы принимает байты данных, проводит обработку и передает по Bluetooth

каналу на смартфон с заранее установленным программным обеспечением для визуализации полученных данных.

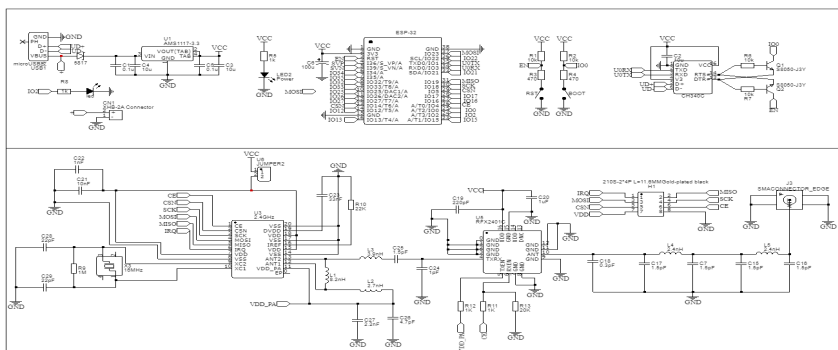


Рисунок 2 – Принципиальная радиоэлектронная схема приемника

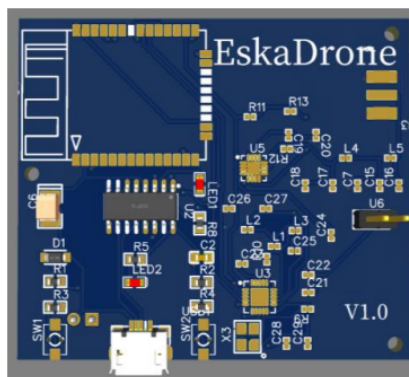


Рисунок 3 – Печатная плата приемника

Схема приемника состоит из микроконтроллера ESP32 со встроенными BLE+Wifi, линейного преобразователя напряжения, преобразователя CH340G USB в UART, также радиочастотного приемника nRF24L01c микросхемой RFX2401C. Линейный преобразователь напряжения AMS1117 3.3 В преобразовывает напряжение 9В на 3.3 В для питания узлов схемы. Микроконтроллер ESP32 в свою очередь обрабатывает принятые данные с радиочастотного модуля nRF24L01c с усилителем сигнала RFX2401C, который обеспечивает дальность приема сигнала до 1000 м. Принятые данные после обработки передаются на смартфон посредством BLE встроенным в

микроконтроллер ESP32. Преобразователь USB в UART CH340G обеспечивает подключение к компьютеру для прошивки или же логирования устройства.

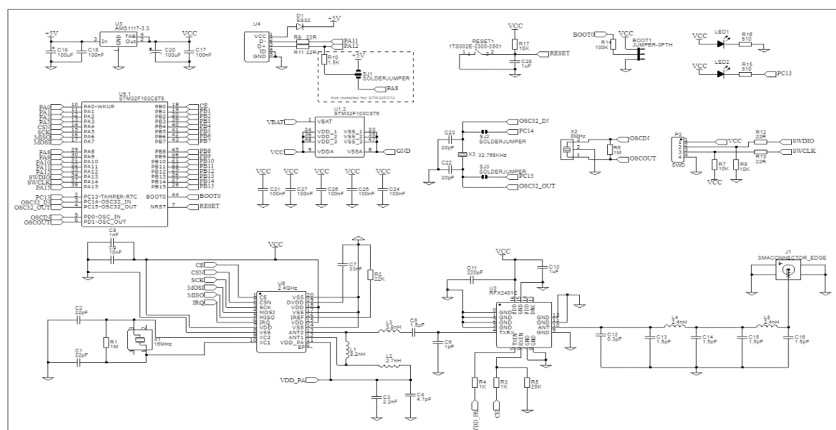


Рисунок 4 – Принципиальная радиоэлектронная схема передатчика

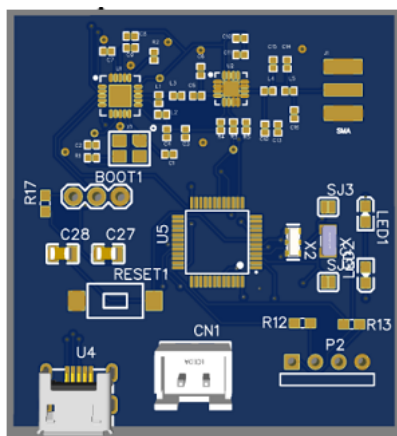


Рисунок 5 – Печатная плата передатчика

Схема передатчика (рисунок 5) состоит из линейного преобразователя напряжения AMS1117 3.3V, микроконтроллера STM32F103C8T6, микросхемы nRF24L01+, микросхемы RFX2401C, также из навесных датчиков PMS5003 (датчик частиц PM2.5) и MICS – 6814 (CO ()), NO₂(), NH₃()). Линейный преобразователь напряжения AMS1117 преобразует входное напряжение 11,7 В от аккумулятора в 3,3В для установки рабочего напряжения микроконтроллера

и передатчика. Микроконтроллер STM32F103C8T6 снимает показания навесных датчиков PMS5003, MICS – 6814. Датчик PMS5003 подключен к микроконтроллеру по интерфейсу UART, показание датчика составляет 32 байт информации. А датчик MICS – 6814 подключен к аналоговым входам микроконтроллера. Обработанные данные микроконтроллером передаются при помощи радиочастотного канала, который в свою очередь представляет чип nRF24L01 с МШУ RFX2401C.

Выводы

В данной работе представлены результаты разработки электронных модулей системы экологического мониторинга воздушного бассейна города. Эта система представляет собой электронные модули, которые могут быть установлены на БПЛА вне зависимости от модели. Также, для обработки и визуализации полученных данных разработано программное обеспечение для мобильных устройств, что дает возможность использования системы зондирования для мелких предприятий, которым имеющиеся системы являются экономически нецелесообразными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Gupta, L., Jain R. and Vaszkun, G.** «Survey of Important Issues in UAV Communication Networks» in IEEE Communications Surveys & Tutorials, – Vol. 18. – No. 2. – P. 1123–1152. – Secondquarter, 2016. – doi: 10.1109/COMST.2015.2495297.

2 **Нурмадиева, Г. Т., Жетписбаев, Б. А.** Влияние экосистемы на здоровье человека в промышленно развитых регионах Казахстана // Наука и Здравоохранение. – 2018. – Т. 4. – С. 110–132.

3 **Лю, М. Б., Ибрагимова, Н. А., Адамбеков, Д. А.** Оценка заболеваемости населения г. Алматы легочными болезнями в контексте с загрязнением атмосферного воздуха // Наука и Здравоохранение. 2019. – 4 (Т.21). – С. 90–99.

4 **Rossi M. and Brunelli, D.** «Autonomous Gas Detection and Mapping With Unmanned Aerial Vehicles,» in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – Vol. 65. – No. 4. – P. 765–775, April 2016. – doi: 10.1109/TIM.2015.2506319.

5 **Villa TF, Gonzalez F, Miljievic B, Ristovski ZD, Morawska L.** An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. Sensors (Basel). – 2016, Jul 12, 16(7). – 1072. – doi: 10.3390/s16071072. PMID: 27420065; PMCID: PMC4969839.

6 **Marintseva, Kristina & Yun, Gennadiy & Vasilenko, Igor.** (2019). Delivery of Special Cargoes Using the Unmanned Aerial Vehicles. 10.4018/978-1-5225-7900-7.ch002.

7 Ferreira, Filipe & Cardoso, Jaime & Oliveira, Hélder. (2015). Video Analysis in Indoor Soccer using a Quadcopter. ICPRAM 2015 - 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, Proceedings. 1. 77-86. 10.5220/0005206000770086.

8 Rossi, M., Brunelli, D., Adami, A., Lorenzelli, L., Menna, F. and Remondino, F. (2014) Gas-Drone: Portable Gas Sensing System on UAVs for Gas Leakage Localization. SENSORS, 2014 IEEE, Valencia, 2-5 November 2014, 1431-1434. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985282>

9 Jaaniso, Raivo, Raivo Jaaniso, Ooi Kiang Tan (eds.). Semiconductor gas sensors. Woodhead Publishing, 576 p., 2013. ISBN-13: 978 0 85709 236 6.

10 Lung, S.-C.C.; Thi Hien, T.; Cambaliza, M.O.L.; Hlaing, O.M.T.; Oanh, N.T.K.; Latif, M.T.; Lestari, P.; Salam, A.; Lee, S.-Y.; Wang, W.-C.V.; et al. Research Priorities of Applying Low-Cost PM2.5 Sensors in Southeast Asian Countries. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 1522. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031522>

REFERENCES

1 Gupta, L., Jain R. and Vaszkun, G. «Survey of Important Issues in UAV Communication Networks,» in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123-1152, Secondquarter 2016, doi: 10.1109/COMST.2015.2495297.

2 Nurmadiyeva, G. T., Zhetpishbayev, B. A. Vliyaniye ekosistemy na zdoroviye cheloveka v promyshlennno razvityh regionah Kazakhstana [The impact of the ecosystem on human health in the industrialized regions of Kazakhstan] // Science and Health. – 2018. – Vol. 4. – P. 110–132.

3 Lyu, M. B., Ibragimova, N. A., Adambekov, D. A. Ocenka zabolevaemosti naseleniya g. Almaty legochnymi boleznyami v kontekste s zagryazneniyem atmosfernogo vozduha [Assessment of the incidence of pulmonary diseases in the population of Almaty in the context of air pollution] // Science and Health. 2019. 4 (Vol.21). P. 90-99.

4 Rossi M. and Brunelli, D. «Autonomous Gas Detection and Mapping With Unmanned Aerial Vehicles,» in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 65, no. 4, pp. 765-775, April 2016, doi: 10.1109/TIM.2015.2506319.

5 Villa, TF, Gonzalez F., Miljevic, B., Ristovski, ZD., Morawska, L. An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. Sensors (Basel). 2016 Jul 12;16(7):1072. doi: 10.3390/s16071072. PMID: 27420065; PMCID: PMC4969839.

6 Marintseva, Kristina & Yun, Gennadiy & Vasilenko, Igor. (2019). Delivery of Special Cargoes Using the Unmanned Aerial Vehicles. 10.4018/978-1-5225-7900-7.ch002.

7 **Ferreira, Filipe & Cardoso, Jaime & Oliveira, Hélder.** Video Analysis in Indoor Soccer using a Quadcopter. ICPRAM 2015 - 4th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, Proceedings. 1. – 2015. – P. 77–86. – 10.5220/0005206000770086.

8 **Rossi, M., Brunelli, D., Adami, A., Lorenzelli, L., Menna, F. and Remondino, F.** Gas-Drone : Portable Gas Sensing System on UAVs for Gas Leakage Localization. SENSORS, 2014 IEEE, Valencia, 2-5 November 2014. – P. 1431-1434. – <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985282>

9 **Jaanis, Raivo, Raivo Jaanis, Ooi Kiang Tan (eds.).** Semiconductor gas sensors. Woodhead Publishing, 2013. – 576 p. – ISBN-13: 978 0 85709 236 6.

10 **Lung, S.-C.C.; Thi Hien, T.; Cambaliza, M.O.L.; Hlaing, O.M.T.; Oanh, N.T.K.; Latif, M.T.; Lestari, P.; Salam, A.; Lee, S.-Y.; Wang, W.-C.V.; et al.** Research Priorities of Applying Low-Cost PM2.5 Sensors in Southeast Asian Countries. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 1522. – <https://doi.org/10.3390/ijerph19031522>

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

**А. Б. Қадыржан*

Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 28.02.22 баспаға түсті.

АУА БАССЕЙНІНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮРГІЗУ ЖҮЙЕСІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫН ҚҰРАСТЫРУ

Атмосфераның ластануы тақырыбы, әсіресе қатты бөліктер (аспалы заттар) тұрғысынан қазіргі қоғамдағы өте күрделі мәселе. Бұл мәселе орман өрттері, құрылыс, индустрияландыру және автокөліктер санының үнемі өсуі сияқты факторларға байланысты. Осылайша, PM2.5 бүкіл әлем сияқты Алматы қаласының тұрғындары үшін денсаулыққа қауіп төндіретін проблемалар тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар елдің имиджіне теріс әсер ететін маңызды қауіп факторына айналды. Бұл жұмыстың мақсаты нақты уақыттағы ауа сапасы туралы деректерді бақылау және жинау үшін газ датчиктерімен жабдықталған ұшқышсыз ұшу аппаратын жасау болып табылады. Ұсынылып отырған ұшқышсыз ұшатын аппараттың ауадағы газдың келесі түрлерінің концентрациясын өлшеу мүмкіндігі бар: көміртегі тотығы (CO), озон (O₃), азот диоксиді (NO₂), сутегі нитридi (NH₃), РМ және күкірт диоксиді

(SO_2). Сонымен қатар, жиналған деректер серверге сымсыз қосылым арқылы екі кезеңде (радио жиілік арнасы арқылы таратқыштан қабылдағышқа, содан кейін ресиверден смартфонға Bluetooth Low Energy сымсыз желісі арқылы смартфонға) беріледі.

Кілтті сөздер: ауаның ластануы, ұшқышсыз ұшу аппараты, қоршаған ортаны бақылау, ауа сапасын бақылау, газ датчиктері.

*A. B. Kadyrzhan

Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering
and Telecommunications,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 28.02.22.

DEVELOPMENT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE IN THE AIR BASIN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

The topic of air pollution, especially in terms of particulate matter (suspended matter), is a very serious problem in today's society. This problem is caused by factors such as forest fires, construction, industrialization and the ever-increasing number of cars. Thus, PM_{2.5} has become an important risk factor for residents of the city of Almaty, as well as around the world, not only in terms of health risk problems, but also a negative impact on the image of the country. The aim of this work is to develop an unmanned aerial vehicle equipped with gas sensors to monitor and collect real-time air quality data. The proposed unmanned aerial vehicle has the ability to measure the concentration of the following types of gas in the air: carbon monoxide (CO), ozone (O_3), nitrogen dioxide (NO_2), hydrogen nitride (NH_3), PM and sulfur dioxide (SO_2). In addition, the collected data is transmitted to the server via a wireless connection in two stages (via the radio frequency channel from the transmitter to the receiver, then from the receiver to the smartphone via the Bluetooth Low Energy wireless network to the smartphone).

Keywords: air pollution, unmanned aerial vehicle, environmental monitoring, air quality control, gas sensors.

<https://doi.org/10.48081/MPIG4639>

***А. Е. Карманов¹, Н. М. Арипова², Ш. М. Нуркина³,
Е. В. Приходько⁴, Н. М. Танырбергенов⁵**

^{1,2,3,4}Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

⁵Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ЛИСТВЕННОГО МУСОРА С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЖКХ

Статья посвящена актуальной проблеме увеличивающегося спроса на энергоресурсы при их одновременном сокращении, а также вредного влияния выбросов на окружающую среду при использовании традиционных источников энергии. Авторы рассматривают технологию утилизации отходов как один из вариантов решения данного вопроса.

В качестве альтернативного топлива исследователи предлагают использовать биомассу – лиственный мусор. При сжигании растительной органики имеет место так называемый «нулевой углекислотный след» (карбоновый след). Это значит, что в процессе сжигания листьев, количество образующегося CO₂ будет не больше, чем поглотило дерево за срок своей жизни.

Предлагаемая технология утилизации лиственного мусора путем установки предтопка с ретортной горелкой использует минимальное количество операций по подготовке топлива, что минимизирует энерго- и трудозатраты и снижает себестоимость данного топлива.

Разработанная конструкция предтопка с ретортной горелкой позволит сжигать топливную массу без переделки котельных агрегатов и печей. Преимуществом данного устройства является сжигание топлива с большим количеством загрязнений и без жёстких требований к фракции самого топлива. Применение специального устройства для сжигания топливной массы даст существенный экологический и экономический эффект.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, биомасса, утилизация отходов, сжигание мусора, ретортная горелка.

Введение

На современном этапе развития производство не стоит на месте, а развивается, требуя всё большее количество энергоресурсов. Даже во время пандемии, такая отрасль как энергетика, показала рост объёмов производства. Так, в 2020 году при сокращении ВВП РК на 2,6 %, в электроэнергетике наблюдался рост на 2,5 %, до 109,2 млрд кВт·ч [1].

В связи с чем проблема сокращения потребления энергоресурсов и вредных выбросов при производстве энергии, при увеличивающемся спросе на энергоресурсы становится всё более актуальной. Решением этой проблемы может являться замена традиционных источников энергии другими – возобновляемыми. Как отмечают авторы [2] доля возобновляемых источников энергии в странах ЕС составляет 40 % от общего объема производства, в то время как выработка электроэнергии на основе ископаемого топлива упала на 18 %. К 2030 году до 80 % электроэнергии ЕС может быть произведено без использования ископаемого топлива.

Авторы ряда научных исследований отмечают проблемы, возникающие при использовании ряда возобновляемых видов энергии: солнечной, ветряной и т.д. [3, 4].

В последнее время уделяется все большее внимание вопросам получения альтернативного источника энергии из возобновляемого природного сырья – биомассы. Вклад биомассы в мировой энергобаланс оценивается в 10–15 %, достигая в отдельных странах 23 % (Финляндия) [5].

Энергия может быть получена при сжигании самых разнообразных остатков биомассы. Чаще всего используются отходы деревообработки (опилки, щепа, стружка и др.), сельского хозяйства (сено, солома, сосновые иголки, листья, шелуха семян - подсолнечника, риса, гречки и др.), бытовые и промышленные отходы.

При сжигании листового мусора с достаточным количеством воздуха выбросы, в основном, будут состоять из продуктов полного сгорания, исключая угарный газ, окись азота, канцерогены и диоксин. Причём при сжигании растительной органики имеет место так называемый «нулевой углекислотный след» (карбоновый след). Это значит, что в процессе сжигания листьев, количество образующегося CO_2 будет не больше, чем поглотило дерево за срок своей жизни.

Оптимальным в данной ситуации является использование в качестве источника энергии отходов, которые не только не используются и требуют утилизации, но и являются загрязнителями окружающей среды. В настоящее время для РК целевыми показателями являются доля переработки отходов до 40 % к 2030 году и 50 % к 2050 году, а хранение остаточных объемов ТБО на полигонах к 2050 году возрастет до 100 % [6].

Для Казахстана это является важным фактором, так как наше государство ратифицировало Парижское соглашение по климату и взяло на себя обязательства выполнить целевые показатели по снижению выбросов парниковых газов в рамках своих Национальных определенных вкладов (INDC). Согласно этому документу, к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов в РК должно сократиться не менее чем на 15 % к уровню 1990 года. С учётом того, что валовый выброс CO_2 при сжигании органического топлива (уголь, газ, мазут) в 2017 г., по отношению к 1990 г. увеличился на 7,8 % [7], вопрос сокращения выбросов CO_2 в РК стоит актуально.

По оценочным расчётам, количество собираемого листового мусора позволит использовать его в качестве топлива для отопления объектов ЖКЖ [8].

Сбор листового мусора службами ЖКХ уже организован на постоянной основе. После складирования его в мешки (или непосредственно в кузов автомобиля) производится его вывоз на полигон ТБО, где происходит его гниение под действием атмосферных осадков и воздуха. Таким образом, сбор листового мусора и его транспортировка – уже организованные мероприятия, решением проблемы исходного сырья является лишь перенаправление потоков листового мусора с полигона ТБО на место утилизации.

Использование специального устройства такого как предтопок с ретортной горелкой позволит утилизировать листовый мусор с получением тепловой энергии [9, 10].

В случае нехватки листового мусора при работе теплогенерирующей установки, производится демонтаж предтопка с ретортной горелкой и осуществляется дальнейшая эксплуатация установки на угле.

Материалы и методы

Разработка технологии утилизации листового мусора проведена на основании математического и физического моделирования с целью получения тепловой энергии для объектов ЖКХ.

В разработках использовались методы: фундаментальные положения теории теплопроводности, математики, определение коэффициента теплоотдачи и тепловых потерь, натурный эксперимент.

Результаты и обсуждения

Предлагаемая технология утилизации листового мусора путем установки предтопка с ретортной горелкой использует минимальное количество операций по подготовке топлива: отделение части неорганической составляющей (пластик, полиэтилен и др.), сушка до воздушно-сухого состояния и измельчение [11–14].

Рассмотрим подробнее указанные операции:

– очистка от крупных кусков и инородных включений. В исходной массе вместе с листьями, как правило, имеются ветки деревьев, а также пластик, стекло, полиэтилен и др. Для удаления этих составляющих в технологической схеме предусмотрена установка двух устройств. Для удаления от биомассы (сырья) слишком крупной его фракции и посторонних немагнитных включений предлагается применять сепаратор. Удаление магнитных включений, способных повредить дальнейшее оборудование требует установки магнитного сепаратора.

Одним из важнейших моментов работы технологической линии является очистка сырьевой массы от мелких загрязнений – в первую очередь песка, мелких стёкол и т.д. К сожалению, современные технологии разделения отходов не имеют широкого выбора оборудования для решения этой проблемы, но применение промышленных садово-парковых пылесосов позволяет качественно решать данную проблему;

– сушка сырья осуществляется без сушильного комплекса: либо на открытом воздухе, либо на складе сырья с системой приточно-вытяжной вентиляции, а также стеллажами с полками для возможности сушки листы при укладке её в один слой. При подготовке помещения необходимо уделить особое внимание обеспечению хорошей вентиляции участка прессования, надежности электрических сетей и систем пожаротушения. При таком способе сушке значительно снижаются затраты энергии и увеличивается время на подготовку сырья;

– для измельчения сырья применяются, как правило, классические методы. Механическое разрушение высокоэффективно, что делает его более привлекательным. Для малых количеств можно использовать ультразвуковые излучатели, генерирующие высокочастотные звуковые волны. При этом применение ультразвуковых излучателей ограничено значительными энергетическими затратами, а применение механического разрушения определяется отсутствием других методов, схожих по эффективности, но менее энергозатратных.

Понижение фракции материала осуществляют доизмельчением. Доизмельчение должно быть организовано таким образом, чтобы исключить попадание недоизмельчённого материала в исходный материал, для чего дробленый материал подвергают рассеву, а надрешётную часть отправляют на повторное дробление, либо удаляют, если в ней обнаруживают посторонние включения.

Ограниченное число подготовительных этапов подразумевает минимум энерго- и трудозатрат, что положительно скажется на себестоимости топлива.

Для реализации данной технологии утилизации листовного мусора нами разработана конструкция предтопка с ретортной горелкой (рисунок 1), которая позволит сжигать топливную массу без переделки котельных агрегатов и печей. Данное устройство предусматривает сжигание топлива с большим количеством загрязнений и без жёстких требований к фракции самого топлива [15].



Рисунок 1 – Разработанная конструкция ретортной горелки

Выводы

Разработанная технология сжигания топливной биомассы путем применения предтопка с ретортной горелкой предусматривает решение двух актуальных задач:

- утилизация листовного мусора с минимальным ущербом для окружающей среды;
- выработка тепловой энергии на отопление коммунальных объектов с низкой себестоимостью.

Внедрение данной разработки окажет значительное положительное воздействие на окружающую среду. На полигонах ТБО нет утилизации, и листовный мусор только складировается с дальнейшим гниением и

выделением вредных веществ. При естественном процессе гниения листва выделяет в окружающую среду ядовитые соединения газов, что в черте города при условиях повышенной загазованности выхлопами транспорта крайне нежелательно. Утилизация мусора, при гниении которого выделяются вредные вещества, улучшит экологическую ситуацию.

Предлагаемый способ утилизации лиственного мусора с получением тепловой энергии означает использование данного вида растительных отходов в качестве альтернативного топлива взамен угля. С учётом нулевого углекислотного следа органической массы, даже наличие некоторого количества пластика, полиэтилена и др. в лиственном мусоре даст минимальный карбоновый след.

В дальнейшем планируется проведение наладочных испытаний предтопка с ретортной горелкой на стенде для эффективной реализации предложенной технологии.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP13067863).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Пять крупнейших электростанций Казахстана в 2020 году увеличили выработку на 2,5%. <https://kursiv.kz/news/otraslevye-temy/2021-03/pyat-kрупнейshikh-elektrostanciy-kazakhstan-v-2020-godu-uvelichili>

2 Возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс]. - <https://energy.hse.ru/Wiie>. Дата обращения 21.11.2021

3 **Tverberg, G.** How Renewable Energy Models Can Produce Misleading Indications. <https://nguoidentubinhduong.com/2019/10/24/how-renewable-energy-models-can-produce-misleading-indications/>.

4 **Афанасьев, А. А., Баранов, Н. Н.** «Мировая энергетика: глобальные проблемы и перспективы развития» / Энергия: экономика, техника, экология. – № 2. – 2021. – С. 28-47. – DOI: 10.7868/S023336192102004X

5 **Шахматов, К. Л.** Особенности получения топливных брикетов и гранул биомассы тростника (*Phragmites australis*) выработанного торфяного месторождения Чувицино Калининского района Тверской области // Труды Инсторфа, 2014. – № 10 (63). – С. 29-33.

6 Зеленая экономика: реалии и перспективы в Казахстане. АО «Самрук-Казына». – 2018. – 36 с.

7 Об участии государств-участников СНГ в Парижском соглашении по климату, принятом в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Аналитический обзор. – М., 2020. – 30 с.

8 Карманов, А. Е., Приходько, Е. В., Талипов, О. М. Анализ использования топливных брикетов в энергетических целях // Угольная теплоэнергетика в Казахстане: проблемы, решения и перспективы развития: научно-техническая конференция. – Нур-Султан, 2020. – С. 121–127.

9 Логинов, С. В., Масалевич, А. И., Мешков, С. А., Миславский, Б. В. Обзор способов и оборудования для утилизации отходов растениеводства. Реализация низкотемпературного пиролиза и газификации в пилотной и мобильной установках // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2020. – № 55. – С. 75–84. – DOI: 10.36807/1998-9849-2020-55-81-75-84

10 Torvanger, A. Business Models for Negative Emissions From Waste-to-Energy Plants. *Frontiers in Climate*. №3, 2021. doi.org/10.3389/fclim.2021.709891

11 Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Карманов, А. Е., Серебряков, В. А., Сероокая, В. Н. Топливный брикет из органических отходов. Инновационный патент № 29412 Республика Казахстан, МКИ С 10 L 5/00, С 10 L 5/14 опубл. 25.12.2014, бюл. № 12.

12 Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Карманов, А. Е., Бояндинова, А. Б., Сероокая, В. Н. Топливный брикет из опавших листьев и способ его получения. Патент на полезную модель № 2689 Республика Казахстан, МКИ С 10 L 5/14, С 10 L 5/44, С 10 L 5/00 опубл. 02.04.2018, бюл. № 13. -2с.

13 Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Карманов, А. Е., Бояндинова, А. Б., Сероокая, В. Н. Топливный брикет из органических отходов и способ его получения. Патент на полезную модель № 3009 Республика Казахстан, МКИ С 10 L 5/00, С 10 L 5/44 опубл. 06.08.2018, бюл. № 29. - 3с.

14 Билялова, А. Б., Бекмағанбет, Ә. А., Әлімхан, Б. Б., Карманов, А. Е., Курумбаева, М. А., Қақабай, Ә. Б., Ермат, А. Е. Способ получения топливных брикетов. Патент на полезную модель № 5128 Республика Казахстан, опубл. 10.07.2020.

15 Карманов, А. Е., Әлімхан, Б. Б., Бекмағанбет, Ә. А. Использование растительных отходов в энергетических целях. Материалы международной научно-практической конференции «ХІ Торайғыровские чтения». Т.4 Павлодар: ПГУ, 2019. – С. 151–155.

REFERENCES

1 Pyat' krupnejshih elektrostancij Kazahstana v 2020 godu uvelichili vyработку na 2,5 %. [Electronic resource]. – <https://kursiv.kz/news/otraslevyety/2021-03/pyat-krupneyshikh-elektrostanciy-kazahstana-v-2020-godu-uvelichili> [The five largest power plants in Kazakhstan increased their output by 2.5 % in 2020.]

2 *Vozobnovlyаемые источники энергии*. [Renewable energy sources]. [Electronic resource]. – <https://energy.hse.ru/Wiie>. (Access date 21.11.2021).

3 **Tverberg, G.** How Renewable Energy Models Can Produce Misleading Indications. [Tverberg G. How Renewable Energy Models Can Produce Misleading Indications]. [Electronic resource]. – <https://nguidentubinhduong.com/2019/10/24/how-renewable-energy-models-can-produce-misleading-indications/>.

4 **Afnas'ev, A. A., Baranov, N. N.** «Mirovaya energetika: global'nye problemy i perspektivy razvitiya» / *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. – № 2. – 2021. – P. 28–47. – DOI: 10.7868/S023336192102004X [World energy: global problems and development prospects / *Energy: economics, technology, ecology*. – No. 2. – 2021].

5 **SHahmatov, K. L.** Osobennosti polucheniya toplivnyh briketov i granul biomassy trostnika (*Phragmites australis*) vyrabotannogo torfyanogo mestorozhdeniya CHuvicino Kalininskogo rajona Tverskoj oblasti // *Trudy Instorfa*. – 2014. – №10 (63). – P. 29–33 [Features of obtaining fuel briquettes and pellets of cane biomass (*Phragmites australis*) from the Chuvitsino peat deposit of the Kalinsky district of the Tver region // *Proceedings of Instorf*].

6 *Zelenaya ekonomika: realii i perspektivy v Kazahstane*. AO «Samruk-Kazyna». – 2018. – 36 p. [Green economy: realities and prospects in Kazakhstan. JSC “Samruk-Kazyna”].

7 *Ob uchastii gosudarstv-uchastnikov SNG v Parizhskom soglasenii po klimatu, prinyatom v ramkah Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata. Analiticheskij obzor*. – M., 2020. – 30 p. [On the participation of the CIS member states in the Paris Climate Agreement, adopted within the framework of the UN Framework Convention on Climate Change].

8 **Karmanov, A. E., Prihod'ko, E. V., Talipov, O. M.** Analiz ispol'zovaniya toplivnyh briketov v energeticheskikh celyah // *Ugol'naya teploenergetika v Kazahstane: problemy, resheniya i perspektivy razvitiya: nauchno-tekhnicheskaya konferenciya*. – Nur-Sultan, 2020. – P. 121–127. [Analysis of the use of fuel briquettes for energy purposes // *Coal thermal power engineering in Kazakhstan: problems, solutions and development prospects: scientific and technical conference*].

9 **Loginov, S. V., Masalevich, A. I., Meshkov, S. A., Mislavskij, B. V.** Obzor sposobov i oborudovaniya dlya utilizacii othodov rastenievodstva. Realizaciya nizkotemperaturnogo piroliza i gazifikacii v pilotnoj i mobil'noj ustanovkah // *Izvestiya SPbGTI (TU)*. – 2020. – № 55. – P. 75–84. – DOI: 10.36807/1998-9849-2020-55-81-75-84 [Overview of methods and equipment for waste disposal of crop production. Implementation of low-temperature pyrolysis and gasification in pilot and mobile installations]

10 **Torvanger, A.** Business Models for Negative Emissions From Waste-to-Energy Plants. *Frontiers in Climate*. – №3. – 2021. – doi.org/10.3389/fclim.2021.709891 [Business Models for Negative Emissions From Waste-to-Energy Plants.]

11 **Nikiforov, A. S., Prihod'ko, E. V., Karmanov, A. E., Serebryakov, V. A., Serookaya, V. N.** Toplivnyj briket iz organicheskikh othodov. Innovacionnyj patent № 29412 Respublika Kazakhstan, MKI S 10 L 5/00, S 10 L 5/14 opubl. 25.12.2014. – byul. № 12 [Fuel briquette from organic].

12 **Nikiforov, A. S., Prihod'ko, E. V., Karmanov, A. E., Boyandinova, A. B., Serookaya, V. N.** Toplivnyj briket iz opavshih list'ev i sposob ego polucheniya. Patent na poleznuyu model' № 2689 Respublika Kazakhstan, MKI S 10 L 5/14, S 10 L 5/44, S 10 L 5/00 opubl. 02.04.2018, byul. – № 13. – 2 p. [Fuel briquette from fallen leaves and the method of its production.].

13 **Nikiforov, A. S., Prihod'ko, E. V., Karmanov, A. E., Boyandinova, A. B., Serookaya, V. N.** Toplivnyj briket iz organicheskikh othodov i sposob ego polucheniya. Patent na poleznuyu model' № 3009 Respublika Kazakhstan, MKI S 10 L 5/00, S 10 L 5/44 opubl. 06.08.2018. – byul. № 29. – 3 p. [Fuel briquette from organic waste and the method of its production.].

14 **Bilyalova, A. B., Bekmağanbet, Ä. A., Älimhan, B. B., Karmanov, A. E., Kurumbaeva, M. A., Qaqabai, Ä. B., Ermat, A. E.** Sposob polucheniya toplivnyh briketov. Patent na poleznuyu model' № 5128 Respublika Kazakhstan, opubl. 10.07.2020 [Method of obtaining fuel briquettes.].

15 **Karmanov, A. E., Älimhan, B. B., Bekmaganbet, Ä. A.** Ispol'zovanie rastitel'nyh othodov v energeticheskikh celyah. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «XI Torajgyrovskie chteniya». – T. 4. – Pavlodar : PGU, 2019. – P. 151–155 [The use of plant waste for energy purposes.].

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*А. Е. Карманов¹, Н. М. Арипова², Ш. М. Нуркина³, Е. В. Приходько⁴,
Н. М. Таньырбергенов⁵

^{1,2,3,4}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

**ТҚШ ОБЪЕКТІЛЕРІ ҮШІН ЖЫЛУ ЭНЕРГИЯСЫН АЛА
ОТЫРЫП, ЖАПЫРАҚТЫ ҚОҚЫСТЫ КӘДЕГЕ ЖАРАТУ
ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ**

Мақала энергия ресурстарына сұраныстың артуының өзекті проблемасына, сонымен бірге оларды азайту кезінде, сондай-ақ дәстүрлі энергия көздерін пайдалану кезінде шығарындылардың қоршаған ортаға зиянды әсеріне арналған. Авторлар қалдықтарды кәдеге жарату технологиясын осы мәселені шешудің бір нұсқасы ретінде қарастырады. Балама отын ретінде зерттеушілер биомассаны-жапырақты қоқысты қолдануды ұсынады. Өсімдік органикасын жағу кезінде «нөлдік көмірқышқыл ізі» (көміртегі ізі) пайда болады. Бұл жапырақтарды жағу кезінде пайда болған CO₂ мөлшері өмір бойы ағашты сіңіргеннен артық болмайды дегенді білдіреді. Ретортты оттығы бар алдын ала пешті орнату арқылы жапырақты қоқысты кәдеге жаратудың ұсынылған технологиясы отын дайындау бойынша операциялардың ең аз санын пайдаланады, бұл энергия мен еңбек шығындарын азайтады және осы отынның өзіндік құнын төмендетеді. Ретортты оттығы бар алдын ала қыздырғыштың әзірленген конструкциясы отын массасын жағуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия көздері, биомасса, Қалдықтарды кәдеге жарату, қоқысты жағу, ретортты оттық.

*A. E. Karmanov¹, N. M. Aripova², Sh. M. Nurkina³, E. V. Prikhodko⁴, N. M. Tanyrbergenov⁵

^{1,2,3,4}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁵D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Material received on 28.02.22.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE DISPOSAL OF DECIDUOUS WASTE WITH THE PRODUCTION OF THERMAL ENERGY FOR HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

The article is devoted to the urgent problem of increasing demand for energy resources with their simultaneous reduction, as well as the harmful effect of emissions on the environment when using traditional energy sources. The authors consider the technology of waste disposal as one of the solutions to this issue.

As an alternative fuel, the researchers suggest using biomass - deciduous garbage. When burning plant organic matter, there is a so-called «zero carbon dioxide trace» (carbon footprint). This means that in the

process of burning leaves, the amount of CO_2 generated will be no more than the tree absorbed during its lifetime.

The proposed technology of deciduous waste disposal by installing a pre-heater with a retort burner uses a minimum number of fuel preparation operations, which minimizes energy and labor costs and reduces the cost of this fuel.

The developed pre-heating design with a retort burner will allow burning fuel mass.

Keywords: renewable energy sources, biomass, waste disposal, trash incineration, retort burner.

**М. Я. Клецель¹, *А. С. Барукин², А. Ж. Динмуханбетова³,
Д. Э. Әмірбек⁴**

^{1,2,3}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

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

ВЛИЯНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЬЦЕВЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА НЕДООТПУСК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Констатируется, что целесообразность замены воздушных выключателей более совершенными для уменьшения недоотпуска электроэнергии (НЭ) из-за ненадежности главных схем электростанций, до сих пор, математически не доказывалась. Рассматриваются двадцать кольцевых схем напряжением 330–750 кВ с блоками генератор-трансформатор мощностью 300–1200 МВт с воздушными и элегазовыми выключателями отдельно. Приводятся основные используемые формулы и таблицы расчетных логических связей метода, а также таблицы с результатами расчетов. Излагаются фрагменты расчета НЭ в традиционной схеме шестиугольника напряжением 500 кВ с блоками мощностью 500 МВт. Представляются результаты расчетов недоотпуска таблично-логическим методом Ю.Б. Гука для кольцевых схем. Перед расчетами анализируются режимы, приводящие к НЭ из-за ненадежности схемы, а после – долевое участие в этом недоотпуске каждого элемента схемы и его уменьшение в результате замены воздушного выключателя на элегазовый. Так, участие блоков оценивается в 67,5–94 %, а указанное уменьшение НЭ составляет не более, чем 8 %. Делается вывод о нецелесообразности замены воздушных выключателей на элегазовые в схемах 750 кВ при отсутствии генераторных выключателей и малой эффективности при наличии.

Ключевые слова: схема, открытое распределительное устройство, таблично-логический метод, расчет, недоотпуск электроэнергии, выключатель.

Введение

Основным способом уменьшения недоотпуска электроэнергии (НЭ) из-за ненадежности главных схем электростанций считается замена воздушных выключателей на более надежные. Имеются предложения [1–3] повышать надежность открытых распределительных устройств (ОРУ) путем их расширения. Однако, целесообразность использования этих способов для всех главных схем, насколько нам известно, математически не доказывалась. Не оценивалась и та доля энергии, которую теряет электростанция из-за ненадежности каждого элемента схемы. В данной работе сделана попытка восполнить этот пробел в отношении двадцати кольцевых схем ОРУ напряжением 330–750 кВ при наличии на электростанции блоков генератор-трансформатор мощностью 300–1200 МВт. Расчеты осуществляются таблично-логическим методом Ю. Б. Гука [4, 5].

Таблично-логический метод и расчеты недоотпуска электроэнергии из-за ненадежности схемы шестиугольника.

В методе используются специальные таблицы (рассмотренные далее) и следующие формулы:

$$W_{НЭ} = 8760 \sum_k \Lambda(k_{о.п.}) \Delta P(k_{о.п.}) \tau(k_{о.п.}) + 8760 \sum_k \Lambda(k_{в.р.}) \Delta P(k_{в.р.}) \tau(k_{в.р.}) + 8760 \sum_k \Lambda(k_{о.п.} / k_{в.р.}) \{ \Delta P(k_{о.п.}) \tau(k_{о.п.}) + \Delta P(k_{в.р.}) [\tau(k_{в.р.}) - \tau(k_{о.п.})] \}, \quad (1)$$

$$\Lambda(k) = \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j \lambda_{ji} L(j, i, k), \quad (2)$$

$$\tau(k_{в.р.}) = \left[\sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j \lambda_{ji} \tau(j, i, k_{в.р.}) \right] / \Lambda(k_{в.р.}), \quad (3)$$

где $W_{НЭ}$ – суммарный аварийный годовой недоотпуск электроэнергии, кВт·ч/год; $\lambda(k)$ – частота k -ой аварии, 1/год; $\tau(k_{в.р.})$ – среднее время восстановительного ремонта схемы с кодом $k_{в.р.}$, год; $\tau(k_{о.п.}) = 5,7 \cdot 10^{-5}$ год [6]; $k_{о.п.}$ и $k_{в.р.}$ – кратковременные и длительные аварии (индексы «о.п.» и «в.р.» означают оперативные переключения и восстановительный ремонт); $k_{о.п.} / k_{в.р.}$ – переход после переключений от кратковременного нарушения

работоспособности схемы к длительному; $\Delta P(k_{o.п.})$ и $\Delta P(k_{в.р.})$ – аварийные снижения мощности при отключениях в схеме.

Приведем расчет $W_{нэ}$ для электростанции с традиционной схемой ОРУ шестиугольника (рисунок 1) с тремя блоками 1, 2, 3 генератор-трансформатор мощностью 500 МВт и тремя линиями 4, 5, 6 длиной 400 км напряжением 500 кВ с воздушными и элегазовыми выключателями (ВВ и ЭВ).

Если электростанция выдает запланированную мощность при отсутствии ремонтов в ОРУ (режим j0, см. таблицу 2), то:

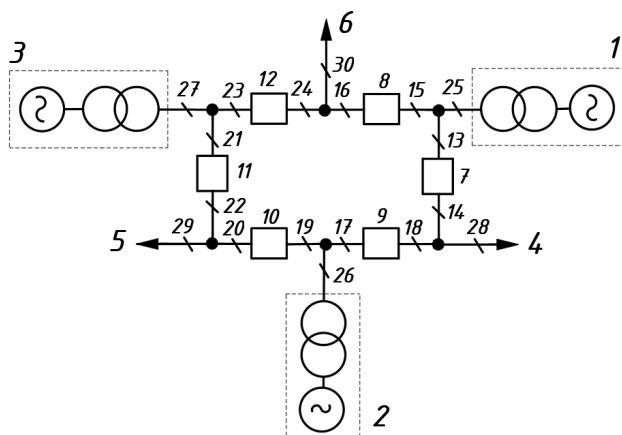


Рисунок 1 – Традиционная схема ОРУ шестиугольника

1) При коротком замыкании (КЗ) в блоке 1 от действия его релейной защиты (РЗ) отключаются выключатели 7 и 8, после чего оперативный персонал отключает разъединитель 25. Происходит потеря мощности блока $\Delta P_{БЛ}$ на время t_1 его аварийного ремонта и пуска из холодного состояния. При КЗ в блоках 2 и 3 все аналогично.

2) При КЗ на линии 4 электропередач (ЛЭП) от действия ее РЗ отключаются выключатели 7 и 9. Если КЗ неустойчивое и срабатывает устройство автоматического повторного включения (УАПВ), то через время t_2 срабатывания УАПВ выключатели 7 и 9 включаются обратно, и восстанавливается нормальный режим работы. Если КЗ на линии 4 устойчивое, то после отключения этих выключателей оперативный персонал отключает разъединитель 28, и линия выводится в ремонт. При этом в

первом и во втором случае происходит, соответственно, кратковременная и длительная потеря линии 4. При КЗ на линиях 5 и 6 все аналогично.

3) При отказе типа «КЗ в обе стороны» выключателя 7 от действия РЗ блока 1 и линии 4 отключаются выключатели 8 и 9. После отсоединения выключателя 7 от схемы разъединителями 13 и 14 (для ремонта), выключатели 8 и 9 включаются персоналом. ЛЭП 4 подключается к схеме, и осуществляется пуск блока 1 через время t_3 из состояния горячего резерва. При отказах типа «КЗ в обе стороны» выключателей 8–12 все действия РЗ и персонала аналогичны.

4) При отказе выключателя 7 в отключении КЗ на линии 4 от действия ее РЗ и устройства резервирования отказа выключателей отключаются выключатели 9 и 8, соответственно. При этом, если КЗ на линии 4 неустойчивое, то через время t_2 выключатель 9 включается обратно от УАПВ, а выключатель 8 – персоналом (выключатель 7 из-за отказа оставался включенным). Восстанавливается нормальный режим работы. При устойчивом КЗ на линии 4 она отключается РЗ и выводится в аварийный ремонт разъединителем 28. Разъединителями 13 и 14 от схемы отсоединяются выключатель 7 (для ремонта) и 9 (для профилактического осмотра), а выключатель 8 включается персоналом, и блок 1 запускается. При КЗ на линиях 4, 5, 6 или при КЗ в блоках 1, 2, 3, совпадающих с отказами в отключении выключателей 7-12, действия РЗ и персонала рассматриваются аналогично.

При нахождении в ремонте одного из элементов схемы все операции подобны рассмотренным.

Исходные данные для расчетов взяты из [7, 8] и приведены в таблице 1. При наличии генераторного выключателя частота отказа блока принимается $0,1\lambda_{\text{БЛ}}$, при отсутствии – $\lambda_{\text{БЛ}}$ [6]. Коэффициент неуспешных АПВ $k_{\text{АПВ}}=0,25$ [9]. Вероятность отказа ЭВ (ВВ) в отключении короткого замыкания $Q_{\text{КЗ}}^{\text{ЭВ}}=0,048$ ($Q_{\text{КЗ}}^{\text{ВВ}}=0,067$).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Элементы схемы ОРУ напряжением 500 кВ	Номер на схеме	Частота отказа λ , 1/год	Длительность восстановления τ , 10^{-3} год	Вероятность планового ремонта $q_{\text{пл}}$, 10^{-3} о.е.
Энергоблок 500 МВт	1; 2	0,8	11,4	91
ЛЭП	3; 4	6,4	2	16
ЭВ	5-12	0,14	5,5	8
ВВ		0,2	10,3	30,8

Далее в таблицах обычно представляются все расчетные режимы. В режимах используются коды и обозначения.

Режимы: j_0 – нормальный; j_1 (j_2, j_3) – аварийный ремонт блока генератор-трансформатор 1 (2, 3); j_4 (j_5, j_6) – плановый ремонт этого блока, совмещаемый с плановым ремонтом выключателей 7 и 8 (9 и 10, 11 и 12); j_7 (j_8, j_9) и j_{10} (j_{11}, j_{12}) – аварийный и плановый ремонт линии 4 (5, 6); j_{13} ($j_{14}-j_{18}$) – аварийный ремонт выключателя 7 (8-12). Их относительные длительности: для аварийных ремонтов $q_j = \lambda_i \tau_i$, для плановых $q_j = q_{пл, i}$, для нормального режима $q_0 = 1 - \sum_{j=1}^m q_j$.

Коды: 1Г – потеря одного генератора; 1Г1Л – тоже и одной линии; 3Г1Л – уменьшение выработки мощности двумя генераторами и потеря одного и одной линии; «-/1Г» означает отсутствие кратковременной потери мощности (прочерк в числителе) и длительный характер аварии, ведущей к потере одного генератора (запись 1Г в знаменателе). Расчетные аварии: «КЗБЛ» – короткое замыкание (КЗ) на блоке, «ОВКЗБЛ» – отказ выключателя в отключении КЗ на блоке.

В таблице 2 для иллюстрации представлены расчетно-логические связи и коды в рассматриваемой схеме шестиугольника с ЭВ при $0,1\lambda_{БЛ}$ для отказов вида «КЗБЛ» и «ОВКЗБЛ», а в таблице 3 – промежуточные результаты расчетов величин $W_{НЭ}, \Lambda(k), \tau(k_{в.р.})$, определяемых по (1)-(3) для кодов аварий при этих отказах.

Таблица 2 – Расчетно-логические связи схемы ОРУ шестиугольник

№ отказавшего элемента (К З н а элементе)	Вид отказов	Код аварии в режиме j при q _i / n						
		0,1λБЛ	0,6/1	9·10 ⁻³ /3	9·10 ⁻²	0,3·10 ⁻²	1,6·10 ⁻²	7,7·10 ⁻²
		λБЛ	0,4/1	9·10 ⁻² /3	/3	/3	/3	/6
		j0	j1	j4	j7	j10	j13	
1	КЗБЛ	-/1Г -/1Г	—		-/1Г		-/1Г	
2			-/1Г	1Г1Л/1Г				
3				-/1Г				
7 (1)	ОВКЗБЛ	1Г1Л/1Г 1Г1Л/1Г	—		—			
8 (1)			3Г1Л/1Г		1Г1Л/1Г			
9 (2)			1Г1Л/1Г	-		-/1Г1Л		
11 (3)				3Г1Л/1Г		1Г1Л/1Г		

Таблица 3 – Промежуточные результаты расчетов

К о д аварии	Частота аварии Λ , 1/год	Длительность ликвидации аварии, год		Теряемая мощность, МВт		Аварийный недоотпуск электроэнергии $W_{н.э}$, кВт·ч/год 106
		$\tau_{\text{ко.п.}}$, 10^{-5}	$\tau_{\text{кв.р.}}$, 10^{-3}	$\Delta P_{\text{о.п.}}$	$\Delta P_{\text{в.р.}}$	
				102		
-/1Г	1,7	—	12,5	—	5	93
-/1Г1Л	0,01	—		—		0,55
1Г1Л/1Г	0,6	5,7		5		31
3Г1Л/1Г	$6,7 \cdot 10^{-3}$			6		0,4

Результаты и обсуждение

Недоотпуски электроэнергии $WHЭ$ для кольцевых схем ОРУ рассчитываются аналогично при исходных данных из [7, 8, 10] при наличии ВВ и ЭВ. Результаты расчетов $WHЭ$ представлены в таблице 4. Там же – результаты уменьшения $WHЭ$ в процентах при замене ВВ в ОРУ на ЭВ ($\Delta W = \frac{W_{нэ}^{ВВ} - W_{нэ}^{ЭВ}}{W_{нэ}^{ВВ}} \cdot 100\%$), доля недоотпуска от $WHЭ$ (из-за ненадежности

схемы) блоков, выключателей и линий и уменьшение частоты отказов блока при $0,1\lambda_{БЛ}$ и $\lambda_{БЛ}$ для того, чтобы добиться такого же уменьшения $НЭ$, которое дает замена ВВ на ЭВ.

Таблица 4 – Результаты расчетов ΔW кольцевых схем ОРУ электрических станций при замене ВВ на ЭВ

Схема ОРУ	U, кВ	P _{БЛ} , МВт	W _{ВВ} кВт		W _{ЭВ} кВт		ΔW, %	Уменьше- ние в % частоты отказов блока при замене ВВ на ЭВ		Доля (в процентах) от W _{ВВ} из-за ненадежности элементов схемы ОРУ														
			блочков							выключателей				линий										
			ВВ		ЭВ					ВВ		ЭВ												
			λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}				λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ} 0,1λ _{БЛ}							
			λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}				λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}	λ _{БЛ}	0,1λ _{БЛ}					
ЧЕТЫРЕХТОЛЬ- НИК (2БЛ, 2Л)	750		293	2263	286	2237	2,4	1,1	1,2	3,1	1,2	84	94	86	95,1	8,2	5,1	4	7,8	0,9	7,9	0,9		
			1000	233	1879	229	1858	1,7	1,1	2,2	1,1	88	94,3	89,2	95,3	7	5	5,5	4	5	0,7	5,3	0,7	
			800	182	1469	178,9	1453	1,7	1,1	2,2	1,1	88	94,4	89,3	95,4	7	5	5,6	4	5	0,6	5,1	0,6	
			500	100	792	94	768	6,5	3	8,5	3,2	77,7	89,5	83,1	92,3	15,6	9,8	9,8	7	6,7	0,7	7,1	0,7	
			300	39	336	37	325	5,1	3,3	6,8	3,3	81,3	89,1	86,3	92	15,2	10,5	10	7,6	3,5	0,4	3,7	0,4	
ПАТЯТУОЛЫНИК (2БЛ, 3Л)	500		300	46	333	43	322	6,5	3,3	9,2	4	67,5	87,2	72	90,7	19,3	11,2	14	7,7	13,2	1,6	14	1,6	
			1200	274	2293	269	2268	1,8	1,1	2,4	1,1	91,4	94,8	93,3	95,9	7,8	5,1	5,9	4	0,8	0,1	0,8	0,1	
			750	1000	221	1867	217	1846	1,8	1,1	2,2	1,1	92,4	95	94	96	7,6	5	6	4	0	0	0	0
			800	173	1460	170	1444	1,7	1,1	2,2	1,1	92,4	95	94	96	7,6	5	6	4	0	0	0	0	
			300	258	1917	241	1866	6,6	2,7	9,4	2,8	78	91	83,7	93,5	16	8,4	9,6	5,9	6	0,6	6,7	0,6	
ШЕСТЬТОЛЫНИК (3БЛ, 3Л)	500		800	187	1510	177,6	1473	5	2,5	6,1	2,5	85,6	91,7	90	94	13,1	8,1	8,7	5,8	1,3	0,2	1,3	0,2	
			500	92	792	87	769	5,4	2,9	5,9	3	85,5	90,3	90,2	93	14,1	9,6	9,4	6,9	0,4	0,1	0,4	0,1	
			300	38	335	36	323	5,3	3,6	6,3	3,7	84	89,4	88,8	92,8	15	10,5	10,1	7,1	1	0,1	1,1	0,1	
			1200	433	3559	422	3497	2,5	1,7	3,3	1,8	86,8	91,7	89,2	93,3	9,8	7,9	7,3	6,3	3,4	0,4	3,5	0,4	
			750	1000	348	2895	339	2846	2,6	1,7	3,1	1,7	88,1	91,8	90,3	93,4	9,5	7,9	7,2	6,3	2,4	0,3	2,5	0,3
ШЕСТЬТОЛЫНИК (3БЛ, 3Л)	500		800	266	2257	260	2220	2,3	1,6	2,7	1,7	90,1	92,1	92,2	93,6	9,1	7,8	7	6,3	0,8	0,1	0,8	0,1	
			800	315,6	2243	290,3	2159	8	3,7	11,7	3,9	72	87,2	78,3	90,6	18	12,2	11	8,8	10	0,6	10,7	0,6	
			500	143	1224	134	1179	6,3	3,7	6,9	3,7	82,8	87,8	88	91,1	15,7	12	10,4	8,7	1,5	0,2	1,6	0,2	
			300	57	511	54	492	5,3	3,7	6,8	3,7	83,5	87,8	89	91,2	16,5	12,2	11	8,8	0	0	0	0	
			330	300	63	506	59	484	6,3	4,3	7,8	4,4	74,5	86,8	79,4	90,7	17,8	12,4	8,5	7,7	0,8	8,2	0,8	

Анализ результатов, представленных в таблице 4, показывает, что:

1 В рассмотренных двадцати кольцевых схемах напряжением 750–330 кВ с блоками 1200–300 МВт замена воздушных выключателей на элегазовые позволит уменьшить недоотпуск электроэнергии (НЭ) на электрических станциях на 1,7–8 %, если есть генераторный выключатель, и 1,1–4,3 %, если нет. Причем, 1,7 % в схеме четырехугольника 750 кВ с блоками мощностью 1000–800 МВт, и 8 % – в схеме шестиугольника 500 кВ с блоками 800 МВт, 1,1 % для четырехугольника и пятиугольника 750 кВ с блоками 1200–800 МВт и 4,3 % для шестиугольника 330 кВ с блоками 300 МВт.

2 Доля недоотпуска электроэнергии (из-за ненадежности схемы) при установке ЭВ (ВВ) составляет для блоков 72–94 % (67,5–92,4 %), для линии 0–14 % (0–13,2 %) и для выключателей 5,5–14 % (7–19,3 %), если есть генераторный выключатель, а если нет, то 90,6–96 % (86,8–95 %), 0–1,6 % (0–1,6 %) и 4–8,8 % (5–12,4 %), соответственно.

Отметим следующее. Замена выключателей в кольцевых схемах ОРУ напряжением 750 кВ дает незначительный эффект 1,7–2,6 %. Она достаточно эффективна (при наличии в блоке генераторных выключателей) в схемах напряжением 500 и 330 кВ (уменьшение НЭ более 5 %). При отсутствии таких выключателей доля линий в НЭ очень мала (до 0,9 %). При этом большие расхождения в долях объясняются величиной мощности, которую пропускает линия.

Для того, чтобы добиться такого же уменьшения НЭ, которое дает замена ВВ на ЭВ, необходимо было бы уменьшить частоту отказов блоков с генераторными выключателями на большие величины (при 5,1% на 6,8 %, а при 8 % на 11,7 %). На наш взгляд, осуществление такого уменьшения частоты отказов блоков, явно, менее целесообразно, чем замена ВВ на ЭВ.

Выводы

Анализ результатов расчетов по таблично-логическому методу позволил количественно оценить уменьшение недоотпуска электроэнергии в результате замены воздушных выключателей на элегазовые в кольцевых схемах ОРУ напряжением 330–750 кВ и выявить долю недоотпуска каждым элементом схемы из-за ее ненадежности. Эти оценки дают основание полагать:

1 В схемах 750 кВ с блоками без генераторных выключателей такая замена не имеет смысла, а с выключателями мало эффективна.

2 Частота отказов линии практически не влияет на недоотпуск электроэнергии из-за ненадежности кольцевой схемы, если в ее блоках нет генераторного выключателя.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №AP09058249).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Клецель, И. Я., Клецель, М. Я., Эмирбек, Д. Э., Мельников, В. Ю. Открытое распределительное устройство электрической станции с тремя блоками генератор-трансформатор, пятью линиями и автотрансформатором связи / Пат. №2739971 РФ. МПК H02B 5/00 ; опубл. 30.12.20, Бюл. №1. – 11 с.
- 2 Богдан, В. А., Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Динмуханбетова, А. Ж. Открытое распределительное устройство электрической станции с двумя блоками генератор-трансформатор / Пат. 2713447 РФ. МПК H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. ; опубл. 05.02.20, Бюл. №4. – 9 с.
- 3 Богдан, А. В., Клецель, М. Я., Барукин, А. С., Динмуханбетова, А. Ж., Амирбек, Д. А. / Пат. №2744255 РФ. МПК H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. Открытое распределительное устройство электрической станции с шестью блоками генератор-трансформатор, семью линиями и автотрансформатором связи; опубл. 04.03.21, Бюл. №7. – 14 с.
- 4 Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
- 5 Гук, Ю. Б., Карпов, В. В., Лapidус, А. А. Теория надежности. Введение. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 171 с.
- 6 Околович, М. Н. Проектирование электрических станций : Учебник для вузов. – М. : Энергоиздат, 1982. – 400 с.
- 7 Абдурахманов, А. М., Мисриханов, М. Ш., Федоров, В. Е., Шунтов, А. В. О надежности ячеек элегазовых выключателей 110-750 кВ подстанций. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып 61. Проблемы исследования и обеспечение надежности систем энергетики / Отв. ред. Воропай Н.И., Тевяшев А.Д. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2011. С. 93-97.
- 8 Балаков, Ю. Н., Мисриханов, М. Ш., Шунтов, А. В. Проектирование схем электроустановок. Электронный ресурс : учебное пособие для вузов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 288 с.
- 9 Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : Учебник для вузов. – М. : Высш. шк., 2006 – 639 с.
- 10 Непомнящий, В. А., Дарьян, Л. А. Надежность оборудования электрических сетей 220-750 кВ энергосистем. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2018. – 124 с.

REFERENCES

- 1 Kletsel, I. Ya., Kletsel, M. Ya., Emirbek, D. E., Melnikov, V. Yu. Otkrytoe raspredelitel'noe ustrojstvo elektricheskoy stantsii s tremja blokami generator-

transformator, pjat'ju linijami i avtotransformatorom svjazi [An open switchgear of an electric station with three generator-transformer blocks, five lines and an autotransformer] / Pat. No. 2739971 of the Russian Federation. IPC H02B 5/00. publ. 30.12.20, Bul. No. 1. – 11 p.

2 Bogdan, V. A., Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Dinmukhanbetova, A. Zh. Otkrytoe raspredelitel'noe ustrojstvo elektricheskoy stantsii s dvumja blokami generator-transformator [An open switchgear of an electric station with two generator-transformer units] / Pat. No.2713447 of the Russian Federation., IPC H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. publ. 05.02.20, Bul. No.4. – 9 p.

3 Bogdan, A. V., Kletsel, M. Ya., Barukin, A. S., Dinmukhanbetova, A. Zh., Amirbek, D. A. Otkrytoe raspredelitel'noe ustrojstvo elektricheskoy stantsii s shest'ju blokami generator-transformator, sem'ju linijami i avtotransformatorom svjazi [An open switchgear of an electric station with six generator-transformer blocks, seven lines and an autotransformer] / Pat. No. 2744255 of the Russian Federation. IPC H02B 5/00, H02J 3/00, H02B 13/065. publ. 04.03.21, Bul. No. 7. – 14 p.

4 Guk, Yu. B. Teorija nadezhnosti v elektroenergetike. [Theory of reliability in the electric power industry]. – L. : Energoatomizdat, 1990. – 208 p.

5 Guk, Yu. B., Karpov, V. V., Lapidus, A. A. Teorija nadezhnosti. Vvedenie [Theory of reliability. Introduction]. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University. Un-ta, 2009. – 171 p.

6 Okolovich, M. N. Proektirovanie elektricheskikh stantsij: Uchebnik dlja vuzov [Design of power plants: Textbook for universities]. – M. : Energoizdat, 1982. – 400 p.

7 Abdurakhmanov, A. M., Misrikhanov, M. Sh., Fedorov, V. E., Shuntov, A. V. O nadezhnosti jacheek elegazovyh vykljuchatelej 110-750 kV podstantsij. Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti bol'shih sistem `energetiki. Vyp 61. Problemy issledovanija i obespechenie nadezhnosti sistem energetiki [On the reliability of the cells of gas switches 110-750 kV substations. Methodological issues of reliability research of large energy systems. Issue 61. Problems of research and ensuring the reliability energy systems] / Ed. Voropai N. and Tevyashev A. D. – Irkutsk: ISEM SO RAN, 2011. P. 93-97.

8 Balakov, Yu. N., Misrikhanov, M. S., Shunts, A. V. Proektirovanie shem elektroustanovok : uchebnoe posobie dlja vuzov [Designing of electrical circuits : textbook for universities]. – M. : Publishing house MPEI, 2016. – 288 p.

9 Andreev, V. A. Relejnaja zaschita i avtomatika sistem elektrosnabzhenija: Uchebnik dlja vuzov [Relay protection and automation of power supply systems: Textbook for universities]. – M. : Higher School, 2006 – 639 p.

10 Nepomnyashchy, V. A., Daryan, L. A. Nadezhnost oborudovanija elektricheskikh setej 220-750 kV energosistem [Reliability of the equipment of

electric networks of 220-750 kV power systems]. – М. : NTF «Energoprogress», 2018 – 124 p.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

М. Я. Клецель¹, *А. С. Барукин², А. Ж. Динмуханбетова³, Д. Ә. Әмірбек⁴

^{1,2,3}Торайгыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁴Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ САҚИНАЛЫ СҰЛБАЛАРЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ СЕҢІМДІЛІГІНІҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ЖЕТКІЛІКСІЗДІГІНЕ ӘСЕРІ

Электр станцияларының басты сұлбаларының сенімсіздігіне байланысты электр энергиясын жеткіліксіздігін (ЭЖ) азайту үшін әуелік ажыратқыштарын неғұрлым жетілдірілген түріне ауыстырудың орындылығы әлі күнге дейін математикалық тұрғыдан дәлелденбегені айтылады. Кернеуі 330–750 кВ, қуаты 300–1200 МВт генератор – трансформатор блоктары бар жиырма сақиналы сұлбалар әуелік және элегазды ажыратқыштарға жеке-жеке қарастырылады. Негізгі қолданылатын формулалар және әдістің есептік логикалық байланыстарының кестелері, сондай-ақ есептеу нәтижелері бар кестелер келтірілген. Қуаты 500 МВт блоктары бар кернеуі 500 кВ дәстүрлі алтыбұрыш сұлбасындағы ЭЖ есептеу фрагменттері келтірілген. Сақиналы сұлбалар үшін ЭЖ-н Ю. Б. Гуктың кестелік-логикалық әдісімен есептелген нәтижелері ұсынылады. Есептеулер алдында сұлбаның сенімсіздігіне байланысты ЭЖ-не әкелетін режимдер, ары қарай сұлбаның әрбір элементінің осы жеткіліксіздікке әсерінің мөлшері және оның әуелік ажыратқышты элегаздыға ауыстыру нәтижесінде төмендеуі талданады. Сонымен, блоктардың әсері 67,5–94 % бағаланады, ал көрсетілген ЭЖ төмендеуі 8 % аспайды. 750 кВ сұлбаларда генераторлық ажыратқыштар болмаған кезде әуелік ажыратқыштарды элегаздыларға ауыстырудың тиімсіздігі, және бар болған кезде - тиімділігі төмен болатындығы туралы қорытынды жасалады.

Кілтті сөздер: сұлба, ашық тарату құрылғысы, кестелік-логикалық әдіс, есептеу, электрэнергиясының жеткіліксіздігі, ажыратқыш.

*M. Ya. Kletsel¹, *A. S. Barukin², A. Zh. Dinmukhanbetova³, D. A. Amirbek⁴*

^{1,2,3}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁴D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk.

Material received on 28.02.22.

INFLUENCE OF RELIABILITY OF ELEMENTS OF RING CIRCUITS OF ELECTRIC POWER STATIONS ON THE UNDER-OUTPUT OF ELECTRICITY

It is stated that the expediency of replacing air switches with more advanced ones to reduce the under-output of electricity (UE), due to the unreliability of the main circuits of power plants, has not yet been mathematically proven. Twenty ring circuits with a voltage of 330–750 kV with generator-transformer units with a capacity of 300–1200 MW with air and gas switches separately are considered. The main formulas used and tables of calculated logical connections of the method, as well as tables with calculation results, are given. Fragments of the calculation of the UE in the traditional 500 kV hexagon circuit with 500 MW power units are presented. The results of calculations of under-output by the tabular-logical method of Yu. B. Guk for ring circuits are presented. Before the calculations, the modes leading to UE due to the unreliability of the circuit are analyzed, and after that, the share of each element of the circuit in this under-output and its reduction as a result of replacing the air switch with an elegaz one. Thus, the participation of blocks is estimated at 67,5–94 %, and the indicated decrease in UE is no more than 8 %. It is concluded that it is impractical to replace air switches with gas-operated ones in 750 kV circuits in the absence of generator switches and low efficiency if available.

Keywords: circuit, outdoor switch gear, tabular-logical method, calculation, under-output of electricity, switch.

***А. В. Коломийцева**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЩЕСТВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Аккумуляция тепловой энергии - это технология, позволяющая накапливать тепловую энергию путем нагревания или охлаждения носителя, для того, чтобы накопленную энергию можно было использовать позднее для обогрева и охлаждения различных объектов. Эффективным методом хранения тепловой энергии является использование материалов с фазовым переходом. Вещества с фазовым переходом являются изотермическими по своей природе и, таким образом, обеспечивают накопление энергии более высокой плотности, и обладают способностью работать в различных температурных диапазонах. Аккумуляция тепловой энергии с использованием материалов с фазовым переходом широко используется в системах, работающих с солнечными коллекторами, фотогальваническими панелями, тепловыми насосами, системами кондиционирования, системами рекуперации тепла.

В данной статье описаны теоретические преимущества процесса использования аккумуляторов тепловой энергии. Рассмотрены вещества с фазовым переходом, которые являются основным компонентом системы, позволяющим эффективно использовать энергетические ресурсы. В статье содержится информация о основных типах веществ с фазовым переходом, их преимуществах и недостатках, а также сферах применения. Кроме того, в статье проводится сравнительный анализ веществ на основе их теплофизических характеристик. Также, приведены основные характеристики, которые необходимо учитывать при выборе вещества для создания теплового аккумулятора.

Ключевые слова: аккумулятор, фазовый переход, тепловая энергия, хранение энергии, скрытая теплота.

Введение

Ежегодный рост потребления энергии во всем мире, вызываемый ростом населения, улучшением качества жизни, высоким уровнем индустриализации, по современным прогнозам, может привести к увеличению спроса энергии на 47 % уже к 2040 году [1]. Данный спрос на энергию может быть удовлетворен двумя различными источниками, а именно: ископаемым топливом, запасы которого в природе ограничены, и возобновляемой энергией. Ископаемые виды топлива имеют ограничения с точки зрения доступности и негативного воздействия на окружающую среду. С другой стороны, возобновляемые источники, такие как солнечная энергия, биоэнергия, энергия ветра, геотермальная энергия и т. д., являются возобновляемыми по своей природе, свободно доступными. Но использование возобновляемых источников энергии также имеет определенные ограничения, особенно солнечная энергия, которая доступна только в дневное время и носит непостоянный характер. Следовательно, солнечная энергия требует наличие эффективного варианта хранения в дневное время, чтобы использовать ее при отсутствии солнечного излучения. Из-за отсутствия солнечной радиации в ночное время и непостоянства природы степень использования солнечной энергии во многом зависит от способа накопления энергии. Энергия в разных формах может храниться по-разному. Наиболее популярным вариантом хранения энергии являются батареи. Механическая энергия может храниться с использованием гидроаккумулирующих насосов, маховиков и аккумуляторов энергии на сжатом воздухе. Тепловая энергия может храниться в различных формах, таких как явное тепло, скрытое тепло и термохимическое или их комбинация. Аккумулирование явной тепловой энергии является своего рода ТЭС, которое связано с изменением температуры материала во время процессов зарядки и разрядки. Аккумулирование скрытой теплоты, в свою очередь, связано с переходом фазы из твердой в жидкую, из жидкой в газообразную или наоборот.

Материалы и методы

Использование веществ с фазовым переходом для аккумулирования тепловой энергии является наиболее эффективным методом хранения тепла [2]. Аккумуляторы с веществами с фазовым переходом (ВФП) считаются одной из наиболее перспективных технологий для уменьшения энергетических нагрузок в периоды высокого потребления. Потребности в энергии в жилом, промышленном, коммерческом и коммунальном секторах варьируются в зависимости от сезона и/или дня. Сезонное накопление тепла помогает избежать нехватки энергии и снижает высокие затраты на энергию за счет накопления тепловой энергии, когда солнечное излучение или другие источники энергии в изобилии или являются

недорогими. Таким образом, использование аккумуляторов с ВФП в данных сферах позволяют использовать энергию более эффективно, путем снижения тепловых потерь. Внедрение данных аккумуляторов, в такие процессы как нагрев воды, охлаждение, отопление и кондиционирование помещений, вызывает большой исследовательский интерес во всем мире. Однако проектирование экономичной системы хранения тепла с фазовым переходом включает в себя два сложных аспекта: один заключается в выборе подходящего аккумулирующего материала, а другой заключается в увеличении теплопередачи между аккумулирующим материалом и теплоносителем, поскольку производительность системы ограничена плохой теплопроводностью материала, аккумулирующего скрытую теплоту. В данной работе рассмотрен аспект выбора вещества с фазовым переходом для аккумуляции тепла.

Результаты и обсуждение

Во время скрытого накопления тепла накопление энергии основано на поглощении или выделении тепла при фазовом переходе вещества. Тепло запасается в основном в процессе фазового перехода и непосредственно связано со скрытой теплотой вещества. Использование системы накопления тепловой энергии с использованием ВФП является эффективным способом хранения тепловой энергии и имеет ряд преимуществ в виде высокой плотности хранения энергии и изотермического характера процесса. Материалы для накопления тепла широко классифицируются на основе их физического изменения при процессе поглощения или выделения тепла. В зависимости от фазового перехода ВФП можно разделить на четыре типа: твердо-твердое, твердо -жидкое, твердо-газовое и жидко-газовое [3]. Из этих четырех типов твердо-жидкие ВФП являются наиболее подходящими для хранения тепловой энергии. На рисунке 1 представлены классификации твердо-жидких ВФП, которые подразделяются на органические, неорганические и эвтектические материалы [4]. ВФП подразделяют на разные группы в зависимости от природы материала (парафины, жирные кислоты, гидраты солей и т. д.).



Рисунок 1 – Классификация твердо-жидких ВФП

Характеристика видов ВФП:

Органические ВФП. Органические ВФП могут многократно плавиться и затвердевать без разделения фаз. Кристаллизуются с небольшим переохлаждением или без него. Обычно не вызывают коррозии.

Неорганические ВФП. Неорганические ВФП в основном используются в высокотемпературных солнечных батареях, при этом наиболее распространенной проблемой является их техническое обслуживание. Так как, при низких температурах они замерзают; при высоких температурах они сложны в эксплуатации. Энтальпия плавления не ухудшается во время циклических процессов.

Металлические ВФП. В эту категорию входят легкоплавкие металлы и их сплавы. Они редко используются в устройствах для хранения тепла из-за их низкой энтальпии плавления на единицу веса, даже если они имеют высокую энтальпию плавления на единицу объема и высокую теплопроводность. Обладают следующими особенностями: низкая теплота плавления на единицу веса; высокая теплота плавления на единицу объема; высокая теплопроводность; низкая удельная теплоемкость; относительно низкое давление паров

Эвтектические материалы. Представляют собой комбинацию двух или более легкоплавких материалов с одинаковыми температурами плавления и замерзания; эвтектики почти всегда плавятся и замерзают без расслоения,

имеют высокие показатели теплопроводности и плотности. Весовой процент каждого материала можно изменять, чтобы получить необходимую температуру плавления полученной эвтектической смеси. По этой причине они являются перспективным видом ВФП, однако менее распространены, чем другие виды. Несмотря на то, что они обладают низкой скрытой и удельной теплоемкостью

Парафиновый воск квалифицируется как ВФП, потому что его можно использовать в широком диапазоне температур, и он имеет достаточно высокую теплоту плавления. Парафиновый воск также может подвергаться замораживанию без явления переохлаждения. Следовательно, технический парафиновый воск является наиболее экономически выгодным и широко используемым ВФП [5].

Жирные кислоты представляют собой органические соединения, имеющие более высокую теплоту плавления по сравнению с парафиновым воском. Жирные кислоты обладают способностью плавиться и замерзать практически без переохлаждения. Одним из факторов, ограничивающим применение жирных кислот, является их стоимость, которая может быть в 2,0–2,5 раза выше стоимости парафина. Гидраты солей обычно представляют собой неорганическое соединение, с высокой плотностью объемного накопления скрытой теплоты. Металлы, в свою очередь, конкурентоспособны из-за их высокой теплопроводности и высокой теплоты плавления на единицу объема [6].

Однако у аккумуляторов теплоты на основе ВФП есть несколько недостатков. Например: они должны иметь длительный срок службы для того, чтобы окупить затраты на их производство; если требуется какой-либо ремонт, провести его без повреждения системы невозможно; а эффект переохлаждения снижает эффективность ВФП, что приводит к недостаточной рекуперации тепла. Так как ВФП могут состоять из нескольких компонентов, может произойти расслоение фаз, что уменьшает надежность устройства. Органические ВФП в устройствах существенно влияют на уровень пожарной безопасности системы. Для решения данной проблемы предлагается использовать антипирены для повышения пожарной безопасности при использовании органических ВФП. Преимущества и недостатки видов ВФП перечислены в таблице 1 [7].

Таблица 1 – Преимущества и недостатки видов ВФП

Тип ВФП	Достоинства	Недостатки
Органические ВФП	1. Доступны для использования в широком диапазоне температур 2. Отсутствует явление переохлаждения 3. Совместимы с другими веществами 4. Отсутствует разделение фаз 5. Химически стабильны 6. Безопасны в использовании 7. Нереактивны 8. Возможна переработка	1. Низкая теплопроводность 2. Легко воспламеняются 3. Высокая стоимость, за исключением технического парафина
Неорганические ВФП	1. Большой показатель объемной скрытой теплоты 2. Более дешёвая стоимость 3. Более высокая теплопроводность 4. Низкая показатель изменения объема 5. Негорючие	1. Подвержены переохлаждению 2. Подвержены коррозии
Эвтектические материалы	1. Высокая температура плавления 2. Высокая объемная плотность хранения теплоты	1. Недостаточное количество данных о необходимых теплофизических свойствах

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что основными характеристиками, необходимыми для ВФП, используемого в аккумуляторах тепловой энергии, являются:

Теплофизические свойства: температура плавления должна соответствовать рабочей температуре аккумулятора; высокий показатель скрытой теплоты плавления, отнесенный к единице объема; высокая удельная теплоемкость; высокие показатели теплопроводности твердой и жидкой фаз; малое объемное изменение во время фазового процесса; фазовый переход должен быть воспроизводим

Зарождение и рост кристаллов: высокие значения для скорости зародышеобразования, которые препятствуют переохлаждению жидкой фазы

во время затвердевания и гарантировать; наличие одинаковых температур плавления и затвердевания вещества; высокая скорость роста кристаллов.

Химические свойства: наличие полного обратимого цикла замораживания/плавления; отсутствие коррозионного воздействия на структурные материалы аккумулятора; нетоксичность, невоспламеняемость и невзрывоопасность.

Экономические и экологические характеристики: доступность; невысокая стоимость; простой процесс переработки; удовлетворительные экологические показатели на основе оценки жизненного цикла устройства

Однако, ни один материал не может обладать всеми свойствами, необходимыми для идеального теплового аккумулятора. Исходя из высокого потенциала аккумуляторов теплоты с ВФП, необходимо исследование данных веществ и минимизация обозначенных недостатков, с целью достижения поставленных задач. Так как, они находят применение в бытовом охлаждении; в обогреве и охлаждении зданий, в системах отопления на основе солнечной энергии, в процессах рекуперации отработанного тепла, абсорбционного охлаждения и производства электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Sarbu, I., Sebachievici, C.** A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage // Sustainability. – 2018. – № 10. – P. 191.

2 **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.

3 **Raj, C. R., Suresh, S. R., Bhavsar, R. R., Singh, V. K.** Recent developments in thermo-physical property enhancement and applications of solid solid phase change materials // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2019. – № 139. – P. 3023–3049.

4 **Okogeri, O., Stathopoulos, V. N.** What about greener phase change materials? A review on biobased phase change materials for thermal energy storage applications. – 2021.

5 **Liu, M. S., Saman, W. Y., Bruno, F.** Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems // Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2012. – № 16. – P. 2118–2132.

6 **Pandey, A. K., Hossain, M. S., Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Jeyraj, A., Selvaraj, L., Sari, A. S.** Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy // Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2018. – № 82. – P. 281–323.

7 Mofijur, M., Mahlia, T. M., Silitonga, A. S., Ong, H., Silakhori, M., Hasan, M. H., Putra, N., Rahman, S. M. Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage: An Overview // *Energies*. – 2019.

8 Мозговой, А. Г., Шпильрайн, Э. Э., Дибиров, М. А., Бочков, М. М., Левина, Л. Н., Кенисарин, М. М. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ [Текст]. – М. : ИВТАН, 1990. – № 2. – С. 105.

9 Алексеев, В. А., Малозёмов, В. В. Проектирование тепловых аккумуляторов [Текст]. – М. : МАИ, 2008. – 86 с

10 Захарова, В. Ю., Файзуллин, Р. О., Бараненко, А. В., Кузнецов, П. А. Методика расчета аккумуляторов холода с веществами с фазовым переходом [Текст] // *Вестник международной академии холода*. – 2021. – № 3. – С. 13–20.

REFERENCES

1 Sarbu, I., Sebarchievici, C. A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage // *Sustainability*. – 2018. – № 10. – P. 191.

2 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.

3 Raj, C. R., Suresh, S. R., Bhavsar, R. R., Singh, V. K. Recent developments in thermo-physical property enhancement and applications of solid solid phase change materials // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2019. – № 139. – P. 3023–3049.

4 Okogeri, O., Stathopoulos, V. N. What about greener phase change materials? A review on biobased phase change materials for thermal energy storage applications. – 2021.

5 Liu, M. S., Saman, W. Y., Bruno, F. Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2012. – № 16. – P. 2118–2132.

6 Pandey, A. K., Hossain, M. S., Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Jeyraj, A., Selvaraj, L., Sari, A. S. Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – № 82. – P. 281–323.

7 Mofijur, M., Mahlia, T. M., Silitonga, A. S., Ong, H., Silakhori, M., Hasan, M. H., Putra, N., Rahman, S. M. Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage: An Overview // *Energies*. – 2019.

8 Mozgovoij, A. G., SHpil'rajn, E. E., Dibirov, M. A., Bochkov, M. M., Levina, L. N., Kenisarin, M. M. Теплофизические свойства теплоаккумуляторов [Текст]. – М. : ИВТАН, 1990. – № 2. – С. 105.

materialov. Kristallogidraty: Obzory po teplofizicheskim svojstvam veshchestv [Thermophysical properties of heat storage materials. Crystal Hydrates: Reviews on the Thermophysical Properties of Substances] – М.: IVTAN, 1990. – № 2. – P. 105.

9 **Alekseev, V. A., Malozyomov, V. V.** Proektirovanie teplovyh akkumulyatorov [Design of thermal accumulators]. – М.: MAI, 2008. – 86 p.

10 **Zaharova, V. YU., Fajzullin, R. O., Baranenko, A. V., Kuznecov, P. A.** Metodika rascheta akkumulyatorov holoda s veshchestvami s fazovym perekhodom [Method for calculating cold accumulators with substances with a phase transition] // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda. – 2021. – №.3. – P. 13–20.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

**А. В. Коломийцева*

Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ЖЫЛУ ЭНЕРГИЯСЫН ЖИНАҚТАУ ҮШІН ФАЗАЛЫҚ АУЫСУЫ БАР ЗАТТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

Жылу энергиясын сақтау дегеніміз-жинақталған энергияны кейінірек әртүрлі нысандарды жылыту және салқындату үшін пайдалану үшін тасымалдаушыны жылыту немесе салқындату арқылы жылу энергиясын сақтауға мүмкіндік беретін технология. Жылу энергиясын сақтаудың тиімді әдісі-фазалық ауысу материалдарын пайдалану. Фазалық ауысуы бар заттар табиғатта изотермиялық болып табылады және осылайша жоғары тығыздықтағы энергияны сақтауды қамтамасыз етеді және әртүрлі температура диапазонында жұмыс істей алады. Фазалық ауысу материалдарын қолдана отырып, жылу энергиясын сақтау күн коллекторларымен, фотогальваникалық панельдермен, жылу сорғыларымен, ауаны салқындату жүйелерімен, жылуды қалпына келтіру жүйелерімен жұмыс істейтін жүйелерде кеңінен қолданылады.

Бұл мақалада жылу аккумуляторларын пайдалану процесінің теориялық артықшылықтары сипатталған. Энергетикалық ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін жүйенің негізгі компоненті болып табылатын фазалық ауысымы бар заттар қарастырылады. Мақалада фазалық ауысуы бар заттардың негізгі түрлері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ қолдану салалары туралы ақпарат бар. Сонымен

қатар, мақалада заттардың термофизикалық сипаттамаларына негізделген салыстырмалы талдау жасалады. Сондай-ақ, жылу аккумуляторын жасау үшін затты таңдау кезінде ескеру қажет. Негізгі сипаттамалар келтірілген.

Кілтімі сөздер: батарея, фазалық ауысу, жылу энергиясы, энергияны сақтау, жасырын жылу.

**V. Kolomiitseva*

Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 28.02.22.

USE OF SUBSTANCES WITH PHASE TRANSITION FOR THE ACCUMULATION OF THERMAL ENERGY

Thermal energy storage is a technology that allows to accumulate thermal energy by heating or cooling the carrier, so that the accumulated energy can be used later for heating and cooling various objects. An effective method of storing thermal energy is the use of materials with a phase transition. Substances with a phase transition are isothermal in nature and, thus, provide energy storage of higher density, and have the ability to work in different temperature ranges. Thermal energy storage using phase transition materials is widely used in systems working with solar collectors, photovoltaic panels, heat pumps, air conditioning systems, heat recovery systems.

This article describes the theoretical advantages of the process of using thermal energy accumulators. Substances with a phase transition, which are the main component of the system that allows efficient use of energy resources, are considered. The article contains information about the main types of substances with phase transition, their advantages and disadvantages, as well as fields of application. In addition, the article provides a comparative analysis of substances based on their thermophysical characteristics. Also, the main characteristics that must be taken into account when choosing a substance to create a thermal accumulator are given.

Keywords: battery, phase transition, thermal energy, energy storage, latent heat.

Б. Е. Машрапов¹, *Ж. Б. Мусеев², О. М. Талипов³

^{1,2,3}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ОБОЛОЧКИ ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННОГО ТОКОПРОВОДА

Показано, что оболочка пофазно-экранированного токопровода практически не препятствует распространению магнитного поля, созданного током в его шине, и является экраном для внешних магнитных полей. Представлены коэффициенты экранирования оболочек токопроводов производства России с различными геометрическими параметрами, полученные в результате натурных экспериментов и компьютерного моделирования в программе Ansys Maxwell. Определено, что коэффициент экранирования оболочки токопровода зависит от величины отношения ее длины к диаметру, причем он возрастает с увеличением этого отношения и при его значении четыре к одному и более остается неизменным. Исследована возможность использования известной простейшей формулы для расчета коэффициента экранирования внешнего магнитного поля трубчатым экраном бесконечной длины для оболочек токопроводов. Приведены коэффициенты экранирования используемых в экспериментах оболочек, рассчитанные по этой формуле, и выполнено их сравнение с полученными экспериментально. Показано, что ею можно пользоваться вводя в знаменатель поправочный коэффициент $k_n=1,3$, если длина оболочки превышает ее диаметр более, чем в четыре раза. Представлены лабораторные установки для исследования экранирующих свойств оболочек токопроводов и методики проведения экспериментов.

Ключевые слова: оболочка токопровода, магнитное поле, коэффициент экранирования, эксперимент, моделирование.

Введение

В последние десятилетия интенсивно ведутся работы [1-10] по созданию защит без использования трансформаторов тока на основе

герконов, установленных вблизи шины электроустановки (ЭУ). Выбор уставок их срабатывания в сравнении с традиционными защитами имеет ряд особенностей. Так при расчете индукции магнитного поля (МП), действующего вдоль продольной оси геркона, необходимо учитывать влияние токов в шинах соседних фаз и электроустановок, а также наличие металлических элементов их конструкций. Например при выборе уставок срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ) электроустановок с пофазно-экранированными токопроводами нужно учитывать наличие оболочек, которые искажают МП от тока в шине, вблизи которой установлен геркон, и обладают экранирующими свойствами. Исследованию последних и посвящена статья.

Материалы и методы

Определение коэффициента экранирования оболочки токопровода магнитного поля, созданного током в его шине

Для определения этого коэффициента была собрана лабораторная установка (рис. 1), которая содержит регулятор напряжения 1 (РН) TSGC2-30KVA, подключенный первичной обмоткой к источнику переменного тока 2 (ИП), а вторичной - с помощью кабелей 3 к первичной обмотке нагрузочного трансформатора 4 (НТ). Вторичная обмотка трансформатора 4 с помощью кабелей 5, пропущенных через окна трансформаторов тока 6 (типа ТТЭ 125 с коэффициентом трансформации 4000/5), подключена к токоведущей шине 7 пофазно-экранированного токопровода ТЭНЕ. К вторичным обмоткам трансформаторов тока 6 подключены мультиметры 8 типа Fluke 87V. В качестве датчика МП использовалась катушка 10 индуктивности (КИ), с проводом ПЭВ-2-0,14 и количеством витков 6700. К выводам КИ 10 подключен мультиметр 11 типа Fluke 87V.

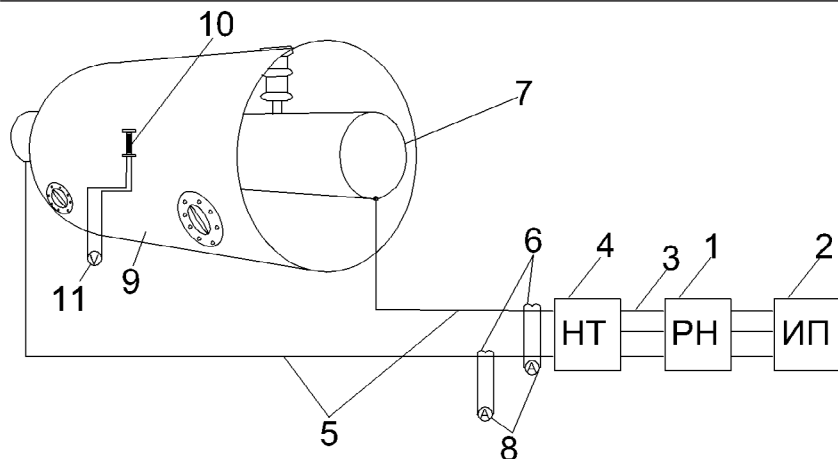


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования экранирующих свойств оболочки комплектного токопровода

При проведении экспериментов КИ 10 устанавливают снаружи оболочки токопровода на расстоянии 3 см. При этом продольную ось КИ 10 располагают перпендикулярно оси шины 7. В шину 7 подают ток от 200 до 600 А, с шагом 200 А. Фиксируют электродвижущую силу (ЭДС) E_1 , наведенную на выводах КИ 10. Убирают оболочку 9, и снова выполняют измерения в этих же точках и фиксируют значения E_2 . По отношению E_1 к E_2 определяют коэффициент экранирования оболочки $k_{э1}$.

Для определения $k_{э1}$ оболочек токопроводов с другими выпускаемыми промышленностью диаметрами, ввиду отсутствия в лаборатории, распределение магнитного поля от тока в их шинах было смоделировано в программе Ansys Maxwell. На рисунке 2 (где точка «т» является местом установки КИ 10) в качестве примера представлена оболочка с диаметром 560 мм.

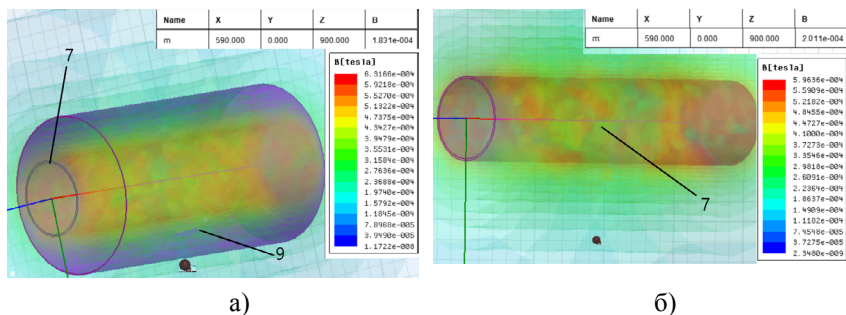


Рисунок 2 – Распределение магнитного поля при наличии оболочки (а) и без нее (б)

Результаты экспериментов и моделирования показали, что $k_{\text{э}1}=0,9$.

Определение коэффициентов экранирования оболочками токопроводов внешнего магнитного поля

Известно [11], что коэффициент экранирования можно рассчитывать по формуле

$$k_{\text{э}} = \frac{2}{\left(2 + k_m^2 \cdot r \cdot d\right)}, \quad (1)$$

где r – внутренний диаметр оболочки токопровода; d – толщина его стенки; k_m – коэффициент вихревых токов.

Однако (1) предназначена для расчета $k_{\text{э}}$ экрана бесконечной длины, а оболочки токопроводов такими не являются. По этой причине в данной статье сделана попытка определить возможность ее применения для расчета их коэффициента экранирования.

Для исследования этого влияния использовались натурные эксперименты и компьютерное моделирование в программе Ansys Maxwell. В качестве лабораторной установки использовалась установка, описанная выше. При этом шину 7 располагали не внутри оболочки 9, а снаружи на расстоянии 60 см. В экспериментах в качестве экрана 9 использовались оболочки токопроводов типа ТЭНЕ, ТЗК, а также алюминиевые трубы (параметры экранов приведены в таблице 1).

Таблица 1 – Параметры экранов (D – внешний диаметр, l – длина, d – толщина стенки)

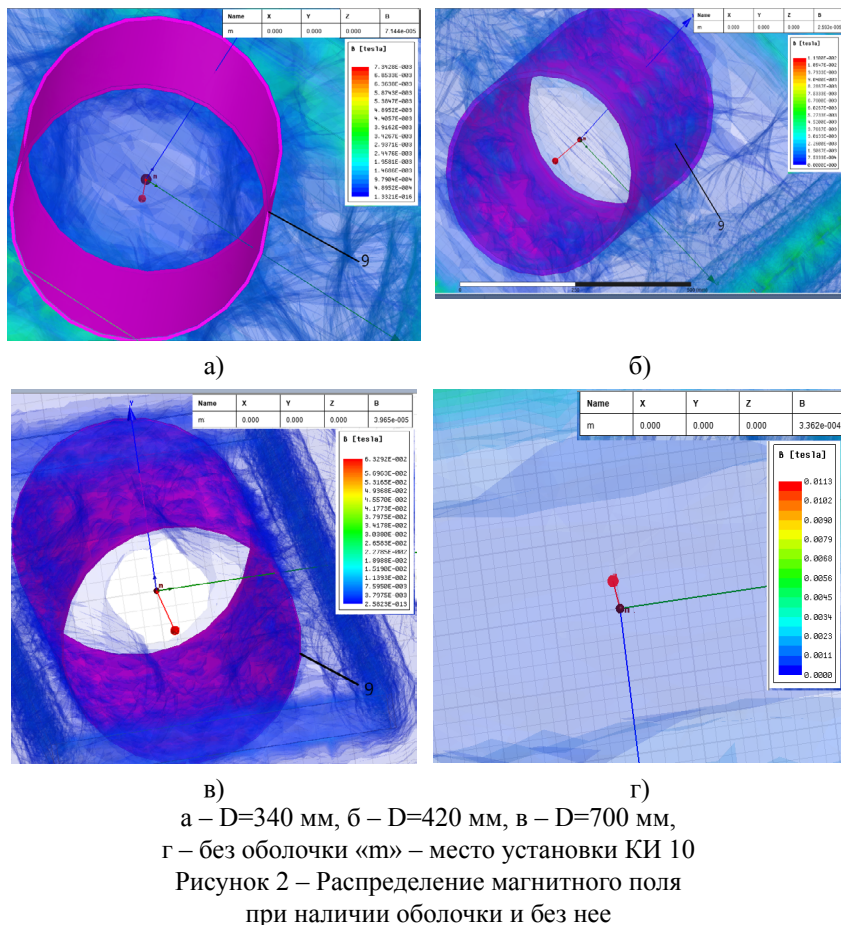
D , мм	880	700	420	80	80	80	80	80	80
l , мм	1500	1500	2000	80	160	240	320	400	1600
d , мм	5	5	11	3	3	3	3	3	3

При проведении экспериментов КИ 10 устанавливают в центре тяжести экрана 9. При этом продольную ось КИ 10 располагают перпендикулярно оси шины 7. В шину 7 подают ток от 200 до 600 А с шагом 200 А. Фиксируют электродвижущую силу (ЭДС) E_3 , наведенную на выворах КИ 10. Затем в этой же точке измеряют ЭДС E_4 при отсутствии экрана 9, и по отношению E_3 к E_4 определяют коэффициент $k_{3,2}$ экранирования. Результаты экспериментов показали, что при отношении $k = l / D \geq 4$ коэффициент $k_{3,2}$ имеет наименьшее расхождение с k_3 (таблица 2)

Таблица 2 – Коэффициенты экранирования

D , мм	880	700	420	80	80	80	80	80	80
k	1,7	2,1	4,8	1	2	3	4	5	20
k_3	14,86	12,5	15,6	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
$K_{3,1}$	9,25	7,8	12,09	1,06	1,2	1,25	1,3	1,3	1,3

Для определения k_3 экранов с диаметрами и длинами не имеющимися в лаборатории, было выполнено моделирование в программе Ansys Maxwell (рис.3). Результаты моделирования также показали зависимость $k_{3,2}$ от k . При этом при $k \geq 4$ $k_{3,2} = k_3 / 1,3$. Оболочки токопроводов, используемых в эксплуатации, имеют $k \geq 4$. Поэтому для расчета их коэффициента экранирования можно воспользоваться (1), введя в знаменатель поправочный коэффициент $k_n = 1,3$.



Результаты и обсуждения

Исследования коэффициента экранирования оболочки токопровода магнитного поля, созданного током в его шине показали, что его значение, не зависимо от диаметра и толщины стенки оболочки, составит 0,9. При этом значение коэффициента экранирования оболочки токопровода внешнего магнитного поля зависит от величины отношения ее длины к диаметру, причем он возрастает с увеличением этого отношения и при его значении четыре к одному и более остается неизменным. Показано, что формулой (1) можно пользоваться введя в знаменатель поправочный коэффициент $k_n=1,3$, если длина оболочки превышает ее диаметр более, чем в четыре раза.

Выводы

Как показали эксперименты и компьютерное моделирование, при применяемых в эксплуатации соотношениях между длиной и диаметром оболочки токопровода $k \geq 4$ их коэффициент экранирования можно рассчитывать по известной формуле с введением поправочного коэффициента $k_{\text{п}}=1.3$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Gurevich, V.** Electric Relays: Principles and Applications. CRC Press, Boca Raton, 2005.

2 **Teng J., Luan Sh., Huang W., Lee D., Huang Yu.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // Int J Electr Power Energy Syst, 2014. – P. 357–366. – <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.10.029>.

3 **Kletsel, M., Barukin, A. and Talipov, O.** «About the Biot-Savart-Laplace law and its use for calculations in high-voltage AC installations» // Przegląd Elektrotechniczny, vol. 93. – No. 11. – 2017. – P. 129-132,

4 **Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov, B., Issabekov, D.** New filters for symmetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – № 101.

5 **Zahlmann, P., Birkel, J., Bohm, T., Buehler, K., Maget, J., Ehrhardt, A., Shulzhenko, E.** Germany Patent no. 102018111308-B3, 2019.

6 **Kletsel, M., Borodenko, V., Barukin, A., Kaltayev, A., Mashrapova, R.** Constructive features of resource-saving reed relay protection and measurement devices // REV ROUM SCI TECH-EL, 2019. №4, P309-315.

7 **Barukin, A., Kaltayev, A., Lenkov, Y.** Majority Voting Schemes of Differential Protections without Current Transformers with Functional Diagnostics for Converting Units and Electric Motors // In: Proceedings of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, 2020. – <https://doi.org/10.1109/ICIEAM48468.2020.9112078>.

8 **Kletsel', M., Neftisov, A., Maishev, P.** Remote Determination of Current Amplitude and Phase Using a Reed Switch // Russian Electrical Engineering, 2020. T. 91. № 1. P. 34-40. – <https://doi.org/10.3103/S106837122001006X>.

9 **Barukin, A., Berguzinov, A., Talipov, O.** Mounting Measuring Devices of Reed Switch Protection Near Conductors of Electrical Installations // In: Proceedings of 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, Vladivostok, 2020. – P. 1–6. – <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271569>

10 **Kletsel', M., Neftisov, A., Maishev, P.** Remote Determination of Current Amplitude and Phase Using a Reed Switch // Russian Electrical Engineering, 2020. T. 91. № 1. P. 34-40.

11 **Горднев, И. И.** Электромагнитное экранирование в широком частотном диапазоне. М: Связь, 1972.

REFERENCES

1 **Gurevich, V.** Electric Relays: Principles and Applications. CRC Press, Boca Raton, 2005.

2 **Teng, J., Luan, Sh., Huang, W., Lee, D., Huang, Yu.** A cost-effective fault management system for distribution systems with distributed generators // Int J Electr Power Energy Syst, 2014.– P. 357–366. – <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.10.029>.

3 **Kletsel, M., Barukin, A. and Talipov, O.** «About the Biot-Savart-Laplace law and its use for calculations in high-voltage AC installations» // Przegląd Elektrotechniczny. – Vol. 93. – No. 11. – 2017. – P. 129–132.

4 **Kletsel, M., Zhantlesova, A., Mayshev, P., Mashrapov, B., Issabekov, D.** New filters for symmetrical current components // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – № 101.

5 **Zahlmann, P., Birkel, J., Bohm T., Buehler, K., Maget J., Ehrhardt, A., Shulzhenko, E.** Germany Patent no. 102018111308-B3, 2019.

6 **Kletsel, M., Borodenko, V., Barukin, A., Kaltayev, A., Mashrapova, R.** Constructive features of resource-saving reed relay protection and measurement devices // REV ROUM SCI TECH-EL, 2019. №4, P.309-315.

7 **Barukin, A., Kaltayev, A., Lenkov, Y.** Majority Voting Schemes of Differential Protections without Current Transformers with Functional Diagnostics for Converting Units and Electric Motors // In: Proceedings of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, 2020. – <https://doi.org/10.1109/ICIEAM48468.2020.9112078>.

8 **Kletsel', M., Neftisov, A., Maishev, P.** Remote Determination of Current Amplitude and Phase Using a Reed Switch // Russian Electrical Engineering, 2020. T. 91. № 1. P. 34-40. – <https://doi.org/10.3103/S106837122001006X>.

9 **Barukin, A., Berguzinov, A., Talipov, O.** Mounting Measuring Devices of Reed Switch Protection Near Conductors of Electrical Installations // In: Proceedings of 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, Vladivostok, 2020. P. 1-6. – <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271569>

10 Kletsel', M., Neftisov, A., Maishev, P. Remote Determination of Current Amplitude and Phase Using a Reed Switch // Russian Electrical Engineering, – 2020. – Т. 91. – № 1. – Р. 34–40.

11 Gordnev, I. I. Elektromagnitnoe ekranirovanie v širokom chastotnom diapazone [Electromagnetic shielding in a wide frequency range]. M: Svyaz', 1972.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

Б. Е. Маширапов¹, *Ж. Б. Мусаев², О. М. Талипов³

^{1,2,3}Торайгыров университети,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ФАЗАЛЫҚ-ЭКРАНДАЛҒАН ТОК ӨТКІЗГІШТІҢ ҚАБЫҚШАСЫНЫҢ ЭКРАНДАУШЫ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ

Фазалық-экрандалған ток тізбегінің қабығы оның шиңасында пайда болған магнит өрісінің таралуына іс жүзінде кедергі келтірмейтіні және сыртқы магнит өрістеріне арналған экран екендігі көрсетілген. Ансис максвелл бағдарламасында натуралық эксперименттер және компьютерлік модельдеу нәтижесінде алынған әртүрлі геометриялық параметрлері бар ресей өндірісінің ток өткізгіштерінің қабықтарын экрандау коэффициенттері ұсынылған. Ток өткізгіштің қабығын экрандау коэффициенті оның ұзындығының диаметрге қатынасының шамасына байланысты екендігі анықталды, және ол осы қатынастың жоғарылауымен жоғарылайды және оның мәні төрт-тен бір немесе одан да көп өзгеріссіз қалады. Сыртқы магнит өрісінің қорғаныс коэффициентін ток өткізгіштердің мембраналары үшін шексіз ұзындықтағы құбырлы экранмен есептеу үшін белгілі қарапайым формуланы қолдану мүмкіндігі зерттелді. Осы формула бойынша есептелген эксперименттерде қолданылатын қабықтардың экрандау коэффициенттері келтірілген және оларды эксперименталды түрде алынған қабықтармен салыстыру жүргізілген. Егер қабықтың ұзындығы оның диаметрінен төрт есе асатын болса, оны бөлгішке $kn=1,3$ түзету коэффициентін енгізу арқылы қолдануға болатындығы көрсетілген. Ток өткізгіштер қабықтарының экрандаушы қасиеттерін және эксперименттер жүргізу әдістемесін зерттеуге арналған зертханалық қондырғылар ұсынылған.

Кілтті сөздер: ток өткізгіш қабығы, магнит өрісі, экрандау коэффициенті, эксперимент, модельдеу.

*B. Ye. Mashrapov*¹, **Zh. B. Musaev*², *O. M. Talipov*³

^{1,2,3}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 28.02.22.

DETERMINATION OF SHIELDING PROPERTIES OF THE SHELL OF A PHASE-SHIELDED CURRENT LINE

It is shown that the shell of the phase-shielded current line practically does not interfere with the propagation of the magnetic field created by the current in its bus, and is a screen for external magnetic fields. The coefficients of shielding of the shells of current pipelines manufactured in Russia with various geometric parameters obtained as a result of field experiments and computer modeling in the ansis Maxwell program are presented. It is determined that the shielding coefficient of the current line shell depends on the ratio of its length to diameter, and it increases with an increase in this ratio and at its value of four to one or more remains unchanged. The possibility of using the known simplest formula for calculating the coefficient of shielding of an external magnetic field by a tubular shield of infinite length for the shells of current pipelines is investigated. The screening coefficients of the shells used in the experiments, calculated according to this formula, are given and compared with those obtained experimentally. It is shown that it can be used by entering a correction factor $k_p = 1.3$ into the denominator if the length of the shell exceeds its diameter by more than four times. Laboratory installations for the study of the shielding properties of the shells of current pipelines and methods of conducting experiments are presented.

Keywords: current line shell, magnetic field, shielding coefficient, experiment, modeling.

<https://doi.org/10.48081/XWWP8243>***А. Н. Новожилов¹, А. К. Садыкова², Т. А. Новожилов³**^{1,2}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

³Омский государственный технический университет,

Российская Федерация, г. Омск

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Рассматривается вопрос, связанный с практической реализацией метода косвенного измерения тока однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью. Этот метод основан на использовании зависимости напряжения смещения нейтрали сети от емкости сети относительно земли при осуществлении однофазного замыкания с помощью шунта, в виде емкости заданной величины. Построение этой зависимости осуществляется с помощью разработанной для этой цели программного обеспечения в среде Turbo Basic. Распечатка этой программы приведена в приложении. Возможность осуществления экспериментального измерения напряжения смещения нейтрали проверялась на базе реально существующей распределительной подстанции, которая оснащена батареей статических конденсаторов. Для измерения этого напряжения при однофазном замыкании на землю через шунт, выполненный из элементов батареи статических конденсаторов, разработана схема для реконструкции этой батареи и инструкция по порядку проведения экспериментального его измерения.

Ключевые слова: сеть с изолированной нейтралью, напряжение смещения нейтрали, однофазное замыкание на землю, емкость шунта, распределительная подстанция, батарея статических конденсаторов.

Введение

Обычно для электроснабжения примышленных предприятий с напряжением 6 и 10кВ используются кабельные сети с изолированной нейтралью [1,2]. Характерной особенностью таких сетей является

зависимость тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) [3] и величин временных перенапряжений от величины емкости жил кабеля этой сети относительно земли. В связи с этим выбор параметров средств для ограничения временных перенапряжений в сети и порога срабатывания устройств релейной защиты от ОЗЗ осуществляется по величине тока I_0 ОЗЗ, который, в свою очередь, определяется по величине емкости жил кабельной сети относительно земли. А так как длина кабелей в такой сети не всегда известна, то определение емкости жил ее кабелей, а, следовательно, тока I_0 не всегда возможны.

Материалы и методы

Наиболее просто определить величину тока ОЗЗ можно путем замыкания одной из фаз сети через амперметр на землю [4]. Однако, такой подход к измерению этого тока может вызвать срабатывание устройств релейной защиты от ОЗЗ и привести к нарушению рабочего цикла производства. А потому его реализация связана с известным риском.

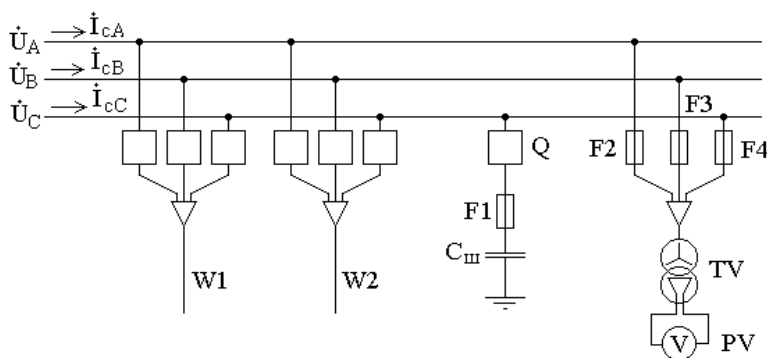


Рисунок 1 – Схема подключения шунта

Этого можно избежать, если осуществить замыкание фазы сети на землю через шунт [5–7] виде емкости величиной $C_{ш}$. А затем по измеренному напряжению смещения нейтрали $U_{0,из}$ и зависимости $U_0 = f(C_\phi)$, построенной для фиксированного значения $C_{ш}$, определяется емкость C_ϕ фазы кабельной сети относительно земли и ток ОЗЗ [3].

Для реализации этого метода можно воспользоваться схемой приведенная на рисунке 1. По этой схеме к шине сети напряжением 6 или 10кВ шунт подключается с помощью резервного выключателя Q комплектного распределительного устройства подстанции. Напряжение смещения нейтрали измеряется с помощью вольтметра PV. Для защиты от короткого замыкания в

цепи емкости $\tilde{N}_0$ используется предохранитель F. Измерение напряжения смещения нейтрали в сети осуществляется вольтметром с помощью трансформатора напряжения нулевой последовательности.

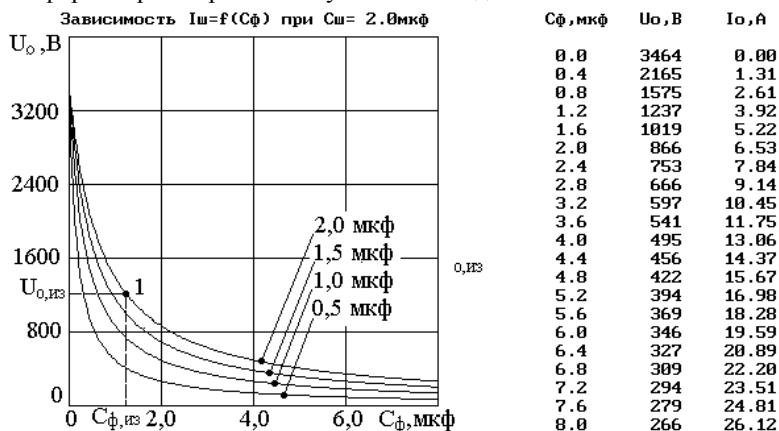


Рисунок 2 – Определение емкости фазы сети по расчетной зависимости $U_o=f(C_{\phi})$ при линейном напряжении сети равном 6кВ

Построение зависимости $U_o=f(C_{\phi})$ осуществляется с помощью программы Tok ОЗЗ, написанной в среде Turbo Basic [8,9], распечатка которой приведена в приложении. Представленные на рисунке 2 зависимости $U_o=f(C_{\phi})$ рассчитаны для линейного напряжения в сети 6кВ при емкости $C_{ш}$ шунта равной 0,5мкФ, 1,0мкФ, 1,5мкФ и 2мкФ. На этом же рисунке в виде ряда чисел приведены величины U_o напряжения смещения нейтрали и I_o тока ОЗЗ в зависимости от емкости C_{ϕ} сети.

Определение емкости фазы сети по зависимости $U_o=f(C_{\phi})$ и измеренному напряжению смещения нейтрали $U_{o,из}$ на рисунке 2 осуществляется в следующем порядке. Первоначально на оси U_o откладывается величина напряжения смещения нейтрали $U_{o,из}$ и проводится горизонтальная линия до пересечения с зависимостью $U_o=f(C_{\phi})$. Далее из точки 1 пересечения на ось C_{ϕ} опускается перпендикуляр и определяется величина емкости $C_{o,из}$ сети, а по числовым значениям – ток ОЗЗ.

Анализ зависимостей $U_o=f(C_{\phi})$ на рисунке 2 показывает, что чем больше емкость конденсатора шунта, тем выше точность измерения. В связи с этим важную роль при реализации этого метода играет правильный выбор величины емкости конденсатора этого шунта. С одной стороны величина емкости шунта при измерениях должна быть как можно меньше, чтобы не

вызвать срабатывания устройств релейной защиты от ОЗЗ. С другой стороны она должна быть достаточной для обеспечения приемлемой точности при определении емкости фазы сети относительно земли.

Как показали многочисленные расчеты для выполнения этих условий, например, на подстанции сети 6–10 кВ емкость шунта $C_{ш}$ должна составлять порядка $(0,2–0,3) C_{\phi}$.

Результаты и обсуждения

Возможность осуществления экспериментального измерения тока ОЗЗ проверялась на базе распределительной подстанции РП-250 ТОО «ПНХЗ», которая оснащена батареей статических конденсаторов (БСК) [10, 11]. Схема такой батареи приведена на рисунке 3. На этой схеме:

Q – выключатель БСК;

F01 – F03 – предохранители первой секции конденсаторов БСК;

F04 – F06 – предохранители второй секции конденсаторов БСК;

F07 – F09 – предохранители третьей секции конденсаторов БСК;

C01 – C03 – конденсаторы секций БСК;

L01 – L03 – реакторы второй секции конденсаторов БСК;

L04 – L06 – реакторы третьей секции конденсаторов БСК;

KM01 и KM02 – контакторы второй и третьей секций БСК.

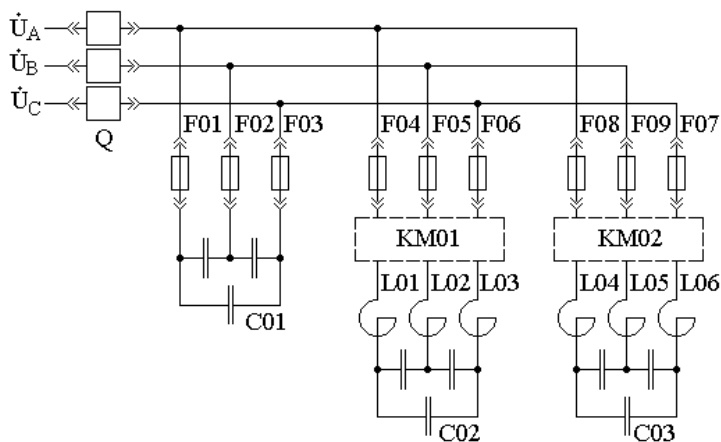


Рисунок 3 – Схема БСК подстанции РП-250

В связи с тем, что для емкостного шунта требуется только один конденсатор, а емкости батарей БСК соединены в треугольник, то для измерения тока ОЗЗ с минимальным нарушением режима работы сети

можно воспользоваться реконструируемой схемой БСК, которая приведена на рисунке 4.

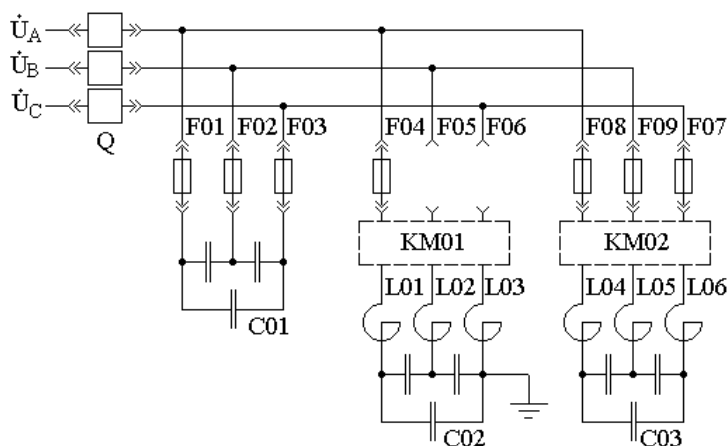


Рисунок 4 – Схема БСК после реконструкции

Как видно из этого рисунка для получения такой схемы предохранители F05 и F06 второй секции конденсаторов БСК вынимаются из гнезд, а свободный угол треугольника конденсаторов заземляется. Замер напряжения смещения нейтрали осуществляется щитовыми электронными с памятью измерительными приборами, которыми оснащаются современные ячейки КРУ.

Для экспериментального определения тока ОЗЗ при использовании батареи статических конденсаторов подстанции РП-250 ТОО «ПНХЗ» необходимо:

1 Отключить БСК от сети 6кВ. Проконтролировать возможность работы сети 6кВ без БСК. Выкатить выключатель из ячейки №10.

2 Сделать выдержку не менее 15 минут для разряда конденсаторов БСК с помощью встроенных резисторов.

3 Произвести все необходимые действия для получения безопасного доступа в сборные шкафы установки УКРМ56-6,3 БСК.

4 В шкафу ячейки мощностью 450 кВАр извлечь предохранители F01, F02, F03.

5 В шкафу первой ячейки мощностью 225 кВАр извлечь предохранители F04, F05, F06.

6 В шкафу второй ячейки мощностью 225 кВАр извлечь предохранители F07, F08.

7 Перемычку между демпфером фазы С и конденсатором С03 отсоединить с обеих сторон.

8 Перемычку подключенной от КМ02 фазы С к демпферу фазы С к контакту Z отсоединить со стороны демпфера и присоединить к фазе С (со стороны лицевой стороны) конденсатора С03.

9 Перемычку подключенной от КМ02 фазы В к демпферу фазы В к контакту Y отсоединить с обеих сторон.

10 Перемычку между демпфером фазы В и конденсатором С03 фазы В (средний контакт) отсоединить с обеих сторон.

11 Перемычку, отключенную в п.9 использовать для соединения фазы В (средний контакт) конденсатора С03 с заземляющим болтом в этом же шкафу.

12 Необходимо закрыть все двери установки УКРМ56-6,3 БСК.

13 Произвести обратные действия из пункта 3.

14 Необходимо вкатить выключатель в ячейке №10 2СШ в РП-250.

15 С помощью прибора Easergy Sapam Schneider Elecrtric, который установлен на лицевой стороне ячейки №10 2СШ РП-250 осуществить запись показаний напряжения смещения нейтрали в виде $3U_0$.

16 Включить выключатель ячейки №10 2СШ в РП-250.

17 На приборе Easergy Sapam Schneider Elecrtric зарегистрировать визуально и осуществить запись изменения показаний $3U_0$.

18 Отключить БСК на 2СШ в РП-250 от сети 6кВ и выкатить выключателя ячейки №10.

19 Сделать выдержку не менее 15 минут для разряда конденсаторов БСК с помощью встроенных резисторов.

20 Восстановить первоначальную схему установки конденсаторной УКРМ56-6,3 БСК и ввести его в работу.

В результате проведения эксперимента выявлено, что при величине подключаемого шунта в виде батареи БСК емкостью 9,2мкф величина $3U_0$ составила 1780В, а ток в шунте всех присоединений этой подстанции измеренный в ячейке БСК - порядка 8,8А. При этом величина напряжения смещения нейтрали $U_0 = 3U_0 / 3 = 1780 / 3 = 593.3В$.

Результаты расчета зависимости $U_0 = f(C_\phi)$ и $U_0 = f(I_0)$ при емкости шунта равной 9,2мкф полученные с помощью программы Tok O33 приведены на рисунке 5. В соответствии с этим рисунком при $U_0 = 593.3В$ емкость сети относительно земли составит порядка 16,1мкф, а ток замыкания на землю будет равен 55,72А.

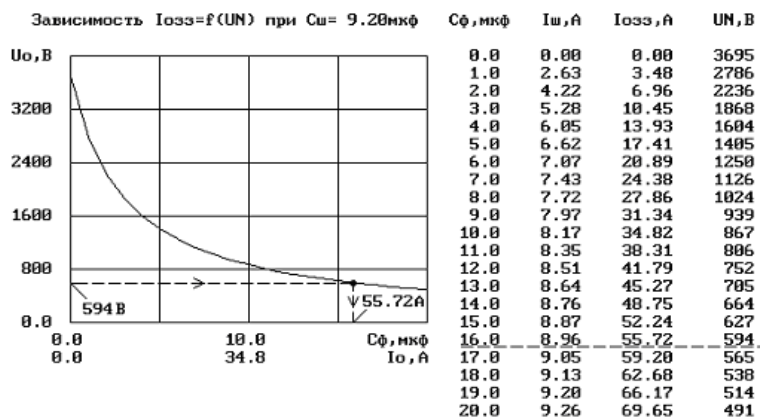


Рисунок 5 – Зависимости $U_o=f(C_\phi)$ и $U_o=f(I_o)$ для определения емкости фазы подстанции и тока ОЗЗ

Выводы

Таким образом, предлагаемая практическая реализация метода косвенного измерения емкости фазы сети относительно земли и тока однофазного замыкания на землю проста и легко реализуется на той материально технической базе, которой располагает значительная часть современных подстанций. При этом есть все основания полагать, что в этом случае погрешность измерения емкости фазы и тока ОЗЗ практически не зависит от естественной несимметрии сети и не превышает 5 %.

Приложение

ТОК ОЗЗ. Разработчик Новожилов А.Н.

Моделирование тока напряжения U_{00} смещения нейтрали в линии с линейным напряжением $U_l=6300\text{В}$ и при шунтировании ее емкостью $C_h=2.0 \text{ мкФ}$ в зависимости от величины емкости C_ϕ ее фазы

screen 9: $C_{fm}=4$: $I_{hm}=0.6$: $nm=20$: $U_{hm}=4000$:

$\pi=3.1415926$: $fs=50$: $\text{omg}=2*\pi*fs$: $aa=0$: $ab=2*\pi/3$: $ac=4*\pi/3$:

$nr=2$: $ul=6300$: $uf=ul/(\text{sqr}(3))$: $Ch=0.5/10^6$: $Xch=1/(\text{omg}*Ch)$:

$dCf=C_{fm}/10^6/nm$:

dim a(nr,nr),b(nr),c(nr,nr),g(nr),x(nr)

dim aj(nr,nr),bj(nr),cj(nr,nr),gj(nr),xj(nr): gosub 1

for nt=0 to nm: $Cf=dCf*nt$: if $Cf=0$ then $Cf=1/10^6$

$Ccs=Cf+Ch$: $Xcs=1/(\text{omg}*Ccs)$: $Xcf=1/(\text{omg}*Cf)$:

gosub 540: gosub 550:

iAr=x(1): iBr=x(2)-x(1): iCr=-x(2):

iAx=xj(1): iBx=xj(2)-xj(1): iCx=-xj(2):

iA=sqr(iAr^2+iAx^2):

iB=sqr(iBr^2+iBx^2):

iC=sqr(iCr^2+iCx^2):

ic0=iC*Xch/(Xcf+Xch): ih=iC*Xcf/(Xcf+Xch):

Upd=iC*Xcs: Uoo=Uf-Upd: Ioo=3*omg*uf*Cf: gosub 2

locate 3+nt,48: print using"###.## ##.### ##.### ####.".": Cf*10^6,Ih,

next nt

500 stop

1 x0=70: x1=350: y0=245: y1=210: x0a=x0: y0a=y0: doy=6: doz=5

for i=1 to doy: il=i-1: ay=y1/((doy-1)/2)*il/2

line(x0,y0-ay)-(x1,y0-ay),8: next i

for i=1 to doz: il=i-1: az=(x1-x0)/(doz-1)*il

line(x0+az,y0-y1)-(x0+az,y0),8: next i

mx=(x1-x0)/nm: my=y1/Uhm:

locate 1,8: print using"Зависимость Iш=f(Cф) при Cш=##.##мкф"; Ch*10^6

locate 1,47: print "Cф,мкф Iш,A Io,A Uo,B";

locate 3,4 : print "Uo,B " ;

locate 6,2: print using"####. " ; 4*Uhm/5

locate 9,2: print using"####. " ; 3*Uhm/5

locate 12,2: print using"####. " ; 2*Uhm/5

locate 15,2: print using"####. " ; 1*Uhm/5

locate 18,4: print using"##.## " ; 0

locate 19,7 : print using"###.## ##.## Cф мкф";0,Cf

return

2 line(x0a,y0a)-(x0+(nt)*mx,y0-Uoo*my),15: y0a=y0-Uoo*my:

x0a=x0+(nt)*mx: return

540 for i=1 to nr: for j=1 to nr: a(i,j)=0: aj(i,j)=0: next j:

b(i)=0: bj(i)=0: next i:

a(1,1)=0: a(1,2)=0:

a(2,1)=0: a(2,2)=0:

aj(1,1)=Xcf+Xcf: aj(1,2)=-Xcf:

aj(2,1)=-Xcf: aj(2,2)=Xcf+Xcs:

```

b(1)=U1*(cos(omg*t-aa)+cos(omg*t-ab)):
bj(1)=U1*(sin(omg*t-aa)+sin(omg*t-ab)):
b(2)=U1*(cos(omg*t-ab)+cos(omg*t-ac)):
bj(2)=U1*(sin(omg*t-ab)+sin(omg*t-ac)):
gosub 10: goto 500
return

550    n=nr: n1=n-1:
for k=1 to n1: r=sqr(a(k,k)^2+aj(k,k)^2): if r<>0 goto 1010
k1=k+1:
for m=k1 to n: r=sqr(a(m,k)^2+aj(m,k)^2): if r=0 goto 1020
for l=1 to n: v=a(k,l): a(k,l)=a(m,l): a(m,l)=v:
vj=aj(k,l): aj(k,l)=aj(m,l): aj(m,l)=vj: next l
1020    next m
v=b(k): b(k)=b(m): b(m)=v: vj=bj(k): bj(k)=bj(m): bj(m)=vj
D:TOK04.BAS Line 96 Col 1 Insert Indent Tab
g(k)=(b(k)*a(k,k)+bj(k)*aj(k,k))/(a(k,k)^2+aj(k,k)^2):
gj(k)=(bj(k)*a(k,k)-b(k)*aj(k,k))/(a(k,k)^2+aj(k,k)^2): k1=k+1

for i=k1 to n: b(i)=b(i)-(a(i,k)*g(k)-aj(i,k)*gj(k))
bj(i)=bj(i)-(a(i,k)*gj(k)+aj(i,k)*g(k)):
for j1=k to n: j=n-j1+1+k:
c(k,j)=(a(k,j)*a(k,k)+aj(k,j)*aj(k,k))/(a(k,k)^2+aj(k,k)^2)
cj(k,j)=(aj(k,j)*a(k,k)-a(k,j)*aj(k,k))/(a(k,k)^2+aj(k,k)^2)
r=(a(i,k)*c(k,j)-aj(i,k)*cj(k,j)): rj=(a(i,k)*cj(k,j)+aj(i,k)*c(k,j))
a(i,j)=a(i,j)-r: aj(i,j)=aj(i,j)-rj
next j1: next i: next k: m=n: if a(m,m)=0 then a(m,m)=1/10^10
if aj(m,m)=0 then aj(m,m)=1/10^10
x(m)=(b(m)*a(m,m)+bj(m)*aj(m,m))/(a(m,m)^2+aj(m,m)^2)
xj(m)=(bj(m)*a(m,m)-b(m)*aj(m,m))/(a(m,m)^2+aj(m,m)^2)
1030    m=m-1: sc=0: scj=0
for l=m to n1: sc=sc+(c(m,l+1)*x(l+1)-cj(m,l+1)*xj(l+1))
scj=scj+(c(m,l+1)*xj(l+1)+cj(m,l+1)*x(l+1)): next l
x(m)=g(m)-sc: xj(m)=gj(m)-scj: if m>1 goto 1030
return

```

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ермилов, А. А.** Основы электроснабжения промышленных предприятий. –М-Л. : Госэнергоиздат. –1963. – 344 с.

2 **Идельчик, В. И.** Электрические системы и сети: – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 592 с.

3 **Корогодский, В. И., Кужеков, С. Л., Паперно, Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 243 с.

4 **Гладилин, Л. В., Щуцкий, В. И., Бацезев, Ю. Г., Чеботаев, Н. И.** Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. – М., «Недра», 1977. – 327 с.

5 **Александров, Г. Н.** Ограничение перенапряжений в электрических сетях. Учебное пособие.: – Санкт-Петербург: изд. центром подготовки кадров, 2003 – 292 с.

6 **Новожилов, А. Н., Исабеков Ж. Б., Новожилов Т. А.** Моделирование токов однофазного замыкания в кабельной сети с изолированной нейтралью с помощью Electronics Workbench // Вестник ПГУ, серия Энергетическая. – 2017. – № 3. – С. 102–107.

7 **Новожилов, А. Н., Новожилов, Т. А., Садыкова, А. К.** Измерение токов однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью косвенным методом // Вестник ПГУ, серия Энергетическая. – 2021. – № 4. – С. 67–73.

8 **Бороденко, В. А.** Программирование в среде Turbo Basic. (учебное пособие). – Павлодар: Кереку, 2003. – 81 с.

9 **Ellis, W.** Structured Programming Using Turbo BASIC / W. Ellis, Jr., E. Lodi. – Academic Press inc. (London) ltd, 1988. – P. 337

10 **Рожкова, Л. Д., Козулин, В. С.** Электрооборудование станции и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.: ил.

11 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты – М.: Энергия, 1975. – 647 с.

REFERENCES

1 **Ermilov A. A.** Osnovy elektrosnabzheniya promyshlennyh predpriyatij [Fundamentals of power supply of industrial enterprises] -M-L.: Gosenergoizdat, – 1963 – P. 344.

2 **Idel'chik, V. I.** Elektricheskie sistemy i seti: [Electrical systems and networks] – М.: Energoatomizdat, 1989 – P. 592.

3 **Korogodskij, V. I., Kuzhekov, S. L., Paperno, L. B.** Relejnaya zashchita elektrodvigatelej napryazheniem vyshe 1 kV [Relay protection of electric motors with voltage above 1 kV] – М.: Energoatomizdat, 1987 – P. 243.

4 **Gladilin, L. V., Shchutskiy, V. I., Batsezhev, YU. G., Chebotayev N. I.** Elektrobezopasnost' v gornodobyvayushchey promyshlennosti. [Electrical safety in the mining industry]. – М. : «Nedra», 1977. – P. 327.

5 **Aleksandrov G. N.** Ogranichenie perenapryazhenij v elektricheskikh setyah : Uchebnoe posobie. [Limitation of overvoltages in electrical networks. Textbook] – St. Petersburg : Publishing house of the personnel training Center, 2003 – P. 292.

6 **Novozhilov, A. N., Isabekov, ZH. B., Novozhilov, T. A.** Modelirovanie tokov odnofaznogo zamykaniya v kabel'noj seti s izolirovannoj nejtral'yu s pomoshch'yu Electronics Workbench [Modeling of single-phase short circuit currents in a cable network with an isolated neutral using Electronics Workbench]// Vestnik PGU, seriya Energeticheskaya [Bulletin of PSU, Energy series] – 2017. – № 3. – P. 102–107.

7 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Sadykova, A. K.** Izmerenie tokov odnofaznogo zamykaniya na zemlyu v setyah s izolirovannoy neitrallyu kosvennym metodom [Measurement of single-phase earth fault currents in networks with isolated neutral by indirect method] // Vestnik Toraigrov Universiteta (Energeticheskaya seriya). [Bulletin of Toraighyrov University (Energy Series)] – Pavlodar, 2021. – № 4. – P. 67–73.

8 **Borodenko, V. A.** Programirovaniye v srede Turbo Basic (uchebnoye posobiye). [Programming in the Turbo Basic environment (tutorial)] – Pavlodar : Kereku, 2003. – P. 81.

9 **Ellis, W.** Structured Programming Using Turbo BASIC / W. Ellis, Jr., E. Lodi. – Academic Press inc. (London) Ltd, 1988. – P. 337.

10 **Rozhkova, L. D., Kozulin, V. S.** Elektrooborudovanie stancii i podstancij : Uchebnik dlya tekhnikumov [Electrical stations and substations : a Textbook for colleges] – 3rd ed., Rev. and additional. – М. : Energoatomizdat, 1987. – P. 648.: il.

11 **CHunihin, A. A.** Elektricheskie apparaty [Electric apparatuses] – М. : Energia, 1975. – P. 647.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*А. Н. Новожилов¹, А. К. Садыкова², Т. А. Новожилов³

^{1,2}Торайгыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ОҚШАУЛАНҒАН БЕЙТАРАБЫ ҚОСЫЛУМЕН ЖЕЛІЛЕРДЕГІ БІР ФАЗАЛЫҚ ЖЕРГЕ ТҰЙЫҚТАЛУ ТОКТАРЫН ЖАНАМА ӘДІСІН ІС ЖҮЗІНДЕ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ

Оқшауланған бейтарабы бар желіде жерге бір фазалы тұйықталу тоғын жанама өлшеу әдісін іс жүзінде жүзеге асырумен байланысты мәселе қарастырылуда. Бұл әдіс берілген шаманың сыйымдылығы түрінде шунт көмегімен бір фазалы тұйықталуды жүзеге асыру кезінде желінің бейтарап ығысу кернеуінің жерге қатысты желінің сыйымдылығына тәуелділігін пайдалануға негізделген. Бұл тәуелділікті құру Turbo Basic ортасында осы мақсат үшін жасалған бағдарламалық жасақтама арқылы жүзеге асырылады. Бұл бағдарламаны басып шығару қосымшада келтірілген. Бейтарап ығысу кернеуін эксперименттік өлшеу мүмкіндігі статикалық конденсаторлардың батареясымен жабдықталған нақты қолданыстағы тарату қосалқы станциясының негізінде тексерілді. Статикалық конденсаторлардың батарея элементтерінен жасалған шунт арқылы жерге бір фазалы тұйықталу кезінде осы кернеуді өлшеу үшін осы батареяны қайта құру схемасы және оны эксперименттік өлшеу тәртібі туралы нұсқаулық жасалды.

Кілтті сөздер: оқшауланған бейтарап желі, бейтарап ығысу кернеуі, бір фазалы жерге тұйықталу, шунт сыйымдылығы, қосалқы станция, статикалық конденсаторлардың батареялары.

*A. N. Novozhilov¹, A. K. Sadykova², T. A. Novozhilov³

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

³Omsk State Technical University,
Russian Federation, Omsk.

Material received on 28.02.22.

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF INDIRECT MEASUREMENT OF SINGLE-PHASE EARTH FAULT CURRENT IN A NETWORK WITH AN ISOLATED NEUTRAL

The issue related to the practical implementation of the method of indirect measurement of the single-phase earth fault current in a network with an isolated neutral is considered. This method is based on the use of the dependence of the offset voltage of the neutral of the network on the capacity of the network relative to the ground when performing a single-

phase short circuit using a shunt, in the form of a capacity of a given value. The construction of this dependency is carried out using software developed for this purpose in the Turbo Basic environment. A printout of this program is provided in the appendix. The possibility of carrying out an experimental measurement of the neutral offset voltage was tested on the basis of a real-life distribution substation, which is equipped with a battery of static capacitors. To measure this voltage during a single-phase earth fault through a shunt made of elements of a battery of static capacitors, a scheme has been developed for the reconstruction of this battery and instructions on how to conduct its experimental measurement.

Keywords: network with isolated neutral, neutral offset voltage, single-phase earth fault, shunt capacity, distribution substation, static capacitor banks.

<https://doi.org/10.48081/UMHE8677>***Б. А. Нурсеитов**

Кызылординский государственный университет имени Коркыт-Ата,
Республика Казахстан, г. Кызылорда

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Солнечная энергия является одной из чистых видов энергии которая имеется у человечества на данное время. Рациональное и эффективное применение ее на благо развития нашей цивилизации является основной задачей. Существующие теоретические методы для определения величины потока солнечной радиации разнообразны. Ядром для разработки имитационной модели в данной статье основана на методике, предложенной Liu, Jordan и ASHRAE. В результате сочетания этих методов получилась имитационная модель для прогнозирования солнечной радиации на поверхность проектируемых солнечных установок. В качестве среды для модели применен пакет расширения Simulink на основе Matlab. Шаблон модели также можно использовать на других платформах подобно Java или Python для дальнейшей реализации. Разработанная модель может быть использовано для экспериментирования в целях анализа, оценки и определения суммарного солнечного радиации по часам для ясных дней, поскольку именно в эти дни процессы, происходящие в солнечных установках, имеют наибольшую эффективность. Кроме того, данную модель можно использовать как звено для моделирования солнечных электростанций. Результаты моделирования солнечной радиации были проверены с базой данных Power Data Access Viewer NASA.

Ключевые слова: солнечная радиация, солнечная инсоляция, расчет гелиоустановок, имитационное моделирование, Simulink, Matlab.

Введение

На практике радиационные измерения проводятся с помощью пиранометра измеряющие плотности потока суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), а также проводятся измерения плотности потока прямой радиации с помощью пиргелиометра. Эти измерительные приборы устанавливаются на отдельных объектах в определенных

регионах. Из-за высокой стоимости этих устройств их установка на многих объектах нецелесообразна. Таким образом, существует необходимость в моделировании солнечного радиации с учетом принципов солнечной астрономии и геометрии. Эти модели впоследствии могут быть использованы для прогнозирования солнечной радиации в местах, где не установлено устройство для измерения солнечной энергии.

Материалы и методы

Солнечная радиация распространяется в виде прямого солнечного излучения, представленной прямой линией, связывающий собой Солнце и приемную площадку солнечного излучения. Вследствие наличия атмосферы и подстилающей поверхности Земли на горизонтальную приемную площадку солнечное излучение поступает уже в виде двух компонентов, а именно прямого G_B и рассеянного G_D солнечного излучения. Рисунок 1 иллюстрирует составляющую солнечного излучения на горизонтальной поверхности.

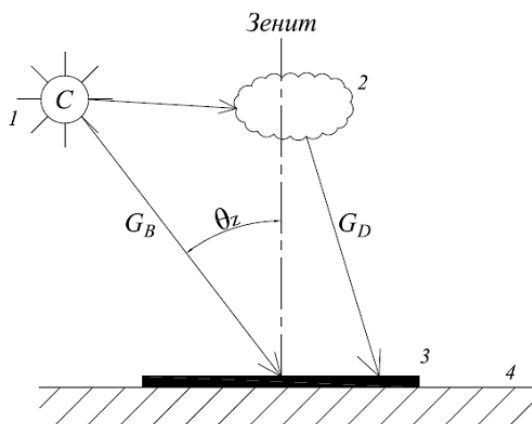


Рисунок 1 – Основные составляющие солнечного излучения на горизонтальной поверхности:

1 – Солнце; 2 – облака; 3 – приемная площадка; 4 – поверхность Земли

Поток суммарной солнечной радиации G_T может быть записано следующим образом:

$$G_T = G_B + G_D \quad (1)$$

Когда луч внеземного солнечного излучения проходит через атмосферу, многие компоненты этого луча поглощаются, ослабляются и рассеиваются небесными газами или молекулами воздуха. Ослабление этого луча из-за пыли, загрязнения воздуха, водяного пара, облаков и мутности можно смоделировать. По методике, предложенной ASHRAE [1] прямое солнечное излучение по нормали, достигающее поверхности Земли $G_{B, norm}$ может быть выражена:

$$G_{B, norm} = A e^{\frac{-K}{\theta_z}} \quad (2)$$

где θ_z – зенитный угол Солнца, т.е. угол между направлением на Солнце и вертикалью; K – оптическая толщина атмосферы; A – внеземной поток.

Зенитный угол Солнца определяется по выражению [2]:

$$\theta_z = \arccos[\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega] \quad (3)$$

где δ – склонение, т.е. угловое положение Солнца в солнечной полдень относительно плоскости экватора; φ – широта местности, град (положительно для северного полушария); ω – часовой угол, равный нулю в солнечной полдень, каждый час соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются отрицательными, а после полудня – положительными.

Коэффициенты A и K вычисляются по формулам:

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (4)$$

$$K = 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (5)$$

где n – порядковый номер дня.

Часовой угол ω вычисляется по формуле:

$$\omega = 15(LST - 12) \quad (6)$$

где LST – местное солнечное время;

Местное солнечное время LST определяется по формуле:

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (7)$$

где LT – местное время; TC – поправочный коэффициент по времени.

Поправочный коэффициент по времени TC определяется по формуле:

$$TC = 4(L - LSTM) + EoT \quad (8)$$

где $LSTM$ – меридиан местного стандартного времени;

EoT – уравнение времени в минутах.

Меридиан местного стандартного времени $LSTM$ и уравнение времени EoT [3] вычисляются по формулам:

$$LSTM = 15UTC \quad (9)$$

$$EoT = 229.2(0.00075 + 0.001868 - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B) \quad (10)$$

где UTC – часовой пояс по Гринвичу;

Коэффициент B определяется по формуле:

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (11)$$

Склонение δ можно определить по приближенной формуле Купера [4]:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (12)$$

Теперь прямое солнечное излучение, на горизонтальной поверхности GB , может быть выражено через:

$$G_B = G_{B,norm} \cos \theta_z \quad (13)$$

Расчет рассеянного излучения, падающего на горизонтальный поверхность, является более сложным по сравнению с расчетом прямого солнечного излучения. Входящее излучение может рассеиваться от атмосферных частиц и водяного пара, а также отражаться облаками. Некоторое излучение отражается от поверхности обратно в небо и снова рассеивается обратно на землю. Простейшие модели рассеянного излучения предполагают, что оно поступает на участок с одинаковой интенсивностью со всех направлений, то есть небо считается изотропным. После этого рассеянное солнечное излучение может быть аппроксимировано:

$$G_D = 0.095 + 0.04 \sin \left(\frac{360}{365} (n - 100) \right) G_{B, norm} \quad (14)$$

Компоненты падающего солнечного излучения на наклонной поверхности показаны на рисунке 2. В дополнение к прямым $G_{B\beta}$ и диффузным $G_{D\beta}$ солнечным излучением, добавляется новый компонент, называемый отраженным солнечным излучением G_R от поверхности Земли.

Эти компоненты могут быть выражены через:

$$G_{T\beta} = G_{B\beta} + G_{D\beta} + G_R \quad (15)$$

Уравнение (15) можно также представить в виде соотношения предложенной Liu, Jordan [5]

$$G_{T\beta} = G_B R_B + G_D R_D + G_T \rho R_R \quad (16)$$

где R_B , R_D и R_R – коэффициенты, а ρ – альбедо земной поверхности. R_B – отношение потока радиации, падающего по нормали на наклонную поверхность, к соответствующему потоку радиации падающего на горизонтальную поверхность. R_D – отношение между потоком рассеянной радиации на горизонтальной поверхности и рассеянной радиации на наклонной поверхности. R_R – коэффициент отраженной потока радиации на наклонной поверхности.

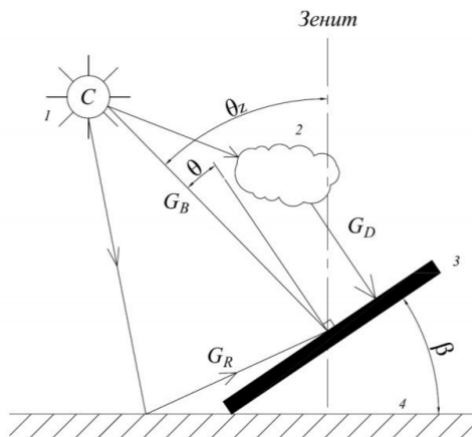


Рисунок 2 – Основные составляющие солнечного излучения на наклонной поверхности:

1 – Солнце; 2 – облака; 3 – приемная площадка; 4 – поверхность Земли

Коэффициенты R_B , R_D и R_R определяются следующим образом:

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (17)$$

$$R_D = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (18)$$

$$R_R = \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (19)$$

где β – угол наклона; θ – угол падения прямого солнечного излучения, измеряемый между направлением излучения и нормалью к поверхности. Соотношение между θ и другими углами можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (20)$$

где γ – азимутальный угол плоскости, т.е. отклонение нормали к плоскости от местного меридиана (за начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается отрицательным, к западу – положительным).

Часовой угол восхода – захода Солнца рассчитывается по формуле [4]:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (21)$$

Из этого следует также, что продолжительность светового дня может быть задана соотношением

$$T_d = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (22)$$

Результаты и обсуждение

Модель разработана в среде Simulink Matlab виде маскированной подсистемы, состоящей из 5 функциональных блоков, 2 подсистем. Результаты моделирования отображаются на 4 дисплеях и 1 осциллографе. Функциональные блоки и подсистемы обеспечивают решение уравнений (1-22).

Блок схема модели расчета солнечной радиации с окном ввода данных, дисплеем и осциллографом представлены на рисунке 3.

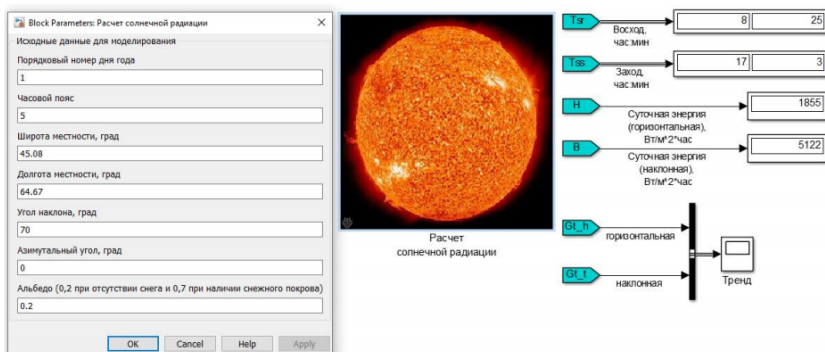


Рисунок 3 – Модель расчета солнечной радиации

Модель позволяет определять текущие значения величины приходящей солнечной радиации для любого дня года в произвольном географическом месте размещения.

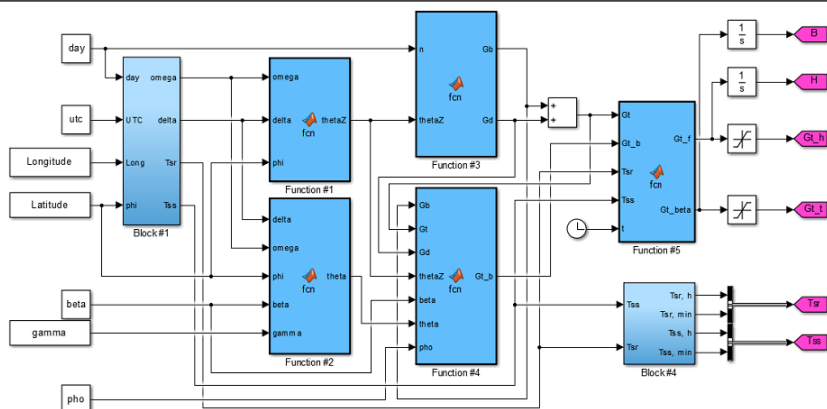


Рисунок 4 – Подсистема модели расчета солнечной радиации

В подсистеме блока №1 из рисунка 5 обеспечивают решение уравнения склонение Земли (12), продолжительность светового дня (22), часового угла (6). С помощью интегратора генерируется сигнал виде линейной функции, имитирующий модель реального времени интервалом от 0 до 24 часов.

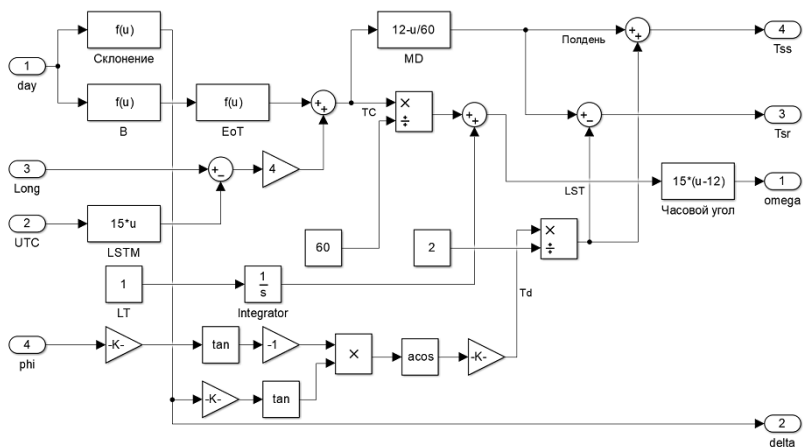


Рисунок 5 – Подсистема Блока № 1

В функциональном блоке № 1 из рисунка 6 вычисляется зенитный угол Солнца (3) с тремя параметрами.

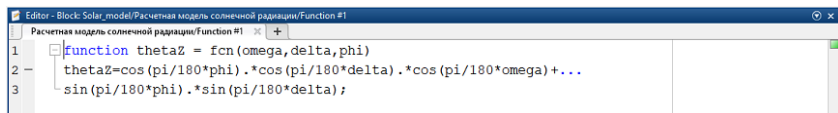


Рисунок 6 – Функциональный блок № 1

Аналогично в функциональном блоке №2 из рисунка 7 определяется угол между направлением излучения и нормалью к поверхности (20) с пятью параметрами.

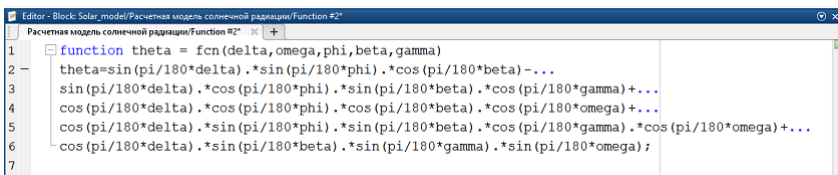


Рисунок 7 – Функциональный блок № 2

В функциональном блоке №3 из рисунка 8 рассчитывается прямое (13) и диффузное (14) солнечное излучение на горизонтальной поверхности. А на рисунке 9 солнечное излучение на наклонную поверхность (16).

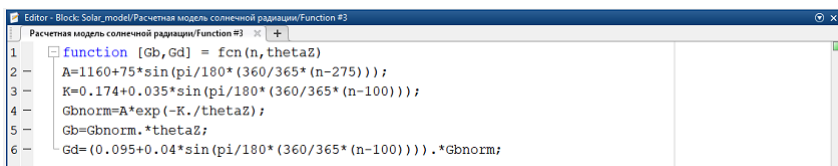


Рисунок 8 – Функциональный блок №3

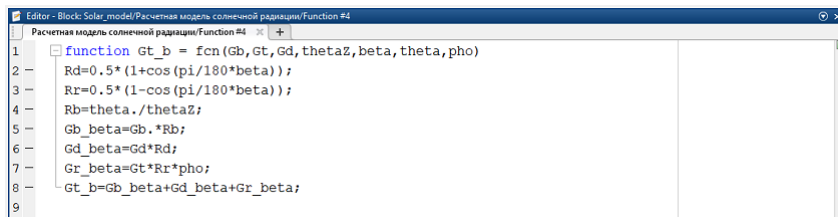


Рисунок 9 – Функциональный блок №4

В последнем функциональном блоке № 5 из рисунка № 10 представлены вычисления только в пределах времени восхода и захода Солнца.

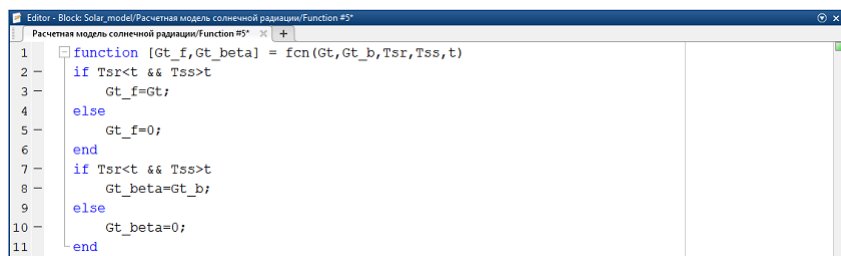


Рисунок 10 – Функциональный блок № 5

Из рисунка 11 следует что, пользователь модели получает в виде графика солнечной радиации на горизонтальную и наклонную поверхность для гелиоустановок.

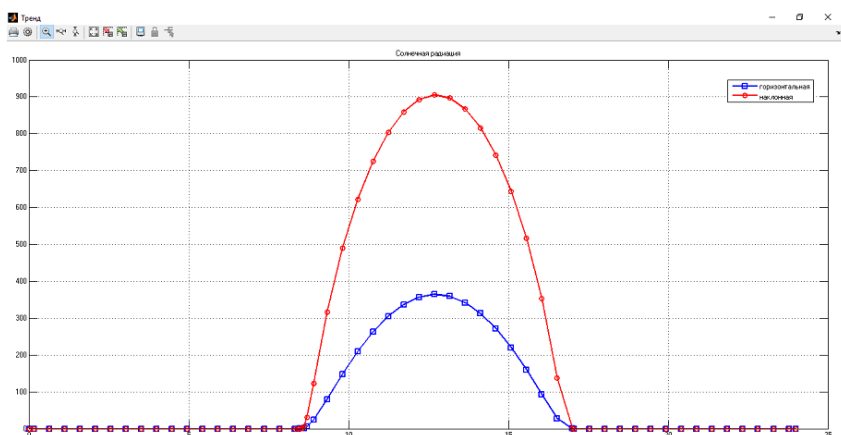


Рисунок 11 – График солнечной радиации

Для проверки модели использовались данные суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, представленные в свободном доступе на сайте NASA [6]. Проведенная серия анализов показала, что модель прихода солнечной радиации в ясный день без облачности обеспечивает правильное отображение результатов по расчету: средняя относительная погрешность модели не превышает 10 %, что вполне пригодно для выполнения инженерных расчетов.

Выводы

Разработана имитационная модель на основе Matlab Simulink, обеспечивающая исследование потока солнечной радиации в реальных

условиях. Исходными данными моделирования являются широта и долгота местности, альbedo земной поверхности, номер дня года, азимутальный угол и угол наклона гелиоустановок, часовой пояс и местное время.

В процессе моделирования рассчитываются временные тренды интенсивности солнечной радиации. Полученные при моделировании данные, обеспечивают возможность выбора гелиоустановок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 ASHRAE Handbook, 1985 Fundamentals; American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2011.

2 **John, A. Duffie, William A. Beckman.** Solar Engineering of Thermal Processes. Fourth Edition. Hoboken, New Jersey, USA, 2013.

3 **Iqbal, M.** An Introduction to Solar Radiation, Academic, Toronto (1983).

4 **Cooper, P. I.** The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. Solar Energy, 12, 3 (1969).

5 **Liu, B. Y. H., Jordan, R. C.** Daily insolation on surfaces tilted towards the equator // ASHRAE Journal. 1961.

6 NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

7 Solar Time [Электронный ресурс]: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-time>

8 **Tamer Khatib,** Wilfried Elmenreich Modeling of Photovoltaic Systems Using MATLAB: Simplified Green Codes, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2016.

9 **Daryl, R. Myers.** Solar radiation Practical Modeling for Renewable Energy Applications. CRC Press. Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA 2013.

10 **Виссарионов, В. И., Дерюгина, Г. В., Кузнецова, В. А., Малинин, Н. К.** Солнечная энергетика. 2-е изд., стер. – М. : ИД МЭИ, 2011. – 276 с.

REFERENCES

1 ASHRAE Handbook, 1985 Fundamentals; American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2011.

2 **John A. Duffie, William A. Beckman.** Solar Engineering of Thermal Processes. Fourth Edition. Hoboken, New Jersey, USA, 2013.

3 **Iqbal, M.** An Introduction to Solar Radiation, Academic, Toronto (1983).

4 **Cooper, P. I.** The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. Solar Energy, 12, 3 (1969).

5 **Liu, B.Y.H., Jordan, R.C.** Daily insolation on surfaces tilted towards the equator // ASHRAE Journal. 1961.

6 NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [Electronic resource]. – <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

7 Solar Time [Electronic resource]. – <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-time>

8 **Tamer Khatib**, Wilfried Elmenreich Modeling of Photovoltaic Systems Using MATLAB: Simplified Green Codes, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2016.

9 **Daryl, R. Myers.** Solar radiation Practical Modeling for Renewable Energy Applications. CRC Press. Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA 2013.

10 **Vissarionov, V. I., Deriugina, G. V., Kuznetcova, V. A., Malinin, N. K.** Solnechnaia energetika [Solar energy]. 2-e izd., ster. – Moscow : ID MEI, 2011. – 276 p.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*Б. А. Нурсеитов

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті,

Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

MATLAB SIMULINK БАҒДАРЛАМАСЫНДА КҮН РАДИАЦИЯСЫНЫҢ ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Күн энергиясы – бұл қазіргі уақытта адамзат үшін қол жетімді энергияның таза түрлерінің бірі. Оны өркениетіміздің дамуы үшін ұтымды және тиімді пайдалану басты мәселе болып саналады. Күн радиациясының шамасын анықтаудың қолданыстағы теориялық әдістері сан түрлі. Осы мақалада модельдеудің ядросы ретінде Liu, Jordan және ASHRAE ұсынған әдістері негізінде орындалған. Осы әдістерді қолдану нәтижесінде жобаланатын күн қондырғыларының бетіне түсетін күн радиациясын болжау үшін имитациялық модель жасалынды. Модельді орындау үшін платформа ретінде Matlab негізіндегі Simulink пакеті қолданылды. Осы шаблонды пайдаланып одан әрі іске асыру үшін Java немесе Python сияқты платформаларда да қолдануға болады. Әзірленген модельді ашық аспанда нақты күндер үшін сағат бойынша күн радиациясын талдау, бағалау және анықтау мақсатында компьютерлік тәжірибелер жасауға болады, өйткені дәл осы күндері күн қондырғыларында болатын процестер

ең тиімді болып табылады. Сонымен қатар, бұл модельді күн электр станцияларын модельдеу үшін сілтеме ретінде пайдалануға болады. Күн радиациясын модельдеу нәтижелері Power Data Access Viewer NASA деректер базасымен тексерілді.

Кілтті сөздер: күн радиациясы, күн инсоляциясы, күн қондырғыларын есептеу, модельдеу, Simulink, Matlab.

*B. A. Nurseitov

Korkyt Ata University,

Republic of Kazakhstan, Kyzylorda.

Material received on 28.02.22.

SIMULATION MODELING OF SOLAR IRRADIANCE ON MATLAB SIMULINK

Solar energy is one of the clean types of energy that humanity has at this time. Rational and effective use of it for the benefit of the development of our civilization is the main task. The existing theoretical methods for determining the magnitude of the solar radiation flux are diverse. The core for the simulation model development in this article is based on the methodology proposed by Liu, Jordan and ASHRAE. A combination of these methods is used to obtain a simulation model for predicting solar radiation on the surface of projected solar installations. The Simulink based on Matlab is used as the environment for the model. The model template can also be used on other platforms like Java or Python for further implementation. The developed model can be used for experimentation in order to analyze, evaluate and determine the total solar radiation by the hour for clear days, since it is on these days that the processes occurring in solar installations have the greatest efficiency. In addition, this model can be used as a link for modeling solar power plants. The results of the solar radiation simulation were verified with the NASA Power Data Access Viewer database

Keywords: solar radiation, solar insolation, calculation of solar installations, simulation modeling, Simulink, Matlab.

<https://doi.org/10.48081/ELWN6070>

**Т. Г. Сериков¹, Ш. А. Мирзакулова², Б. Е. Хамзина³,
*Ж. А. Айсин⁴**

^{1,3,4}С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

²Тұран университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы,

УАҚЫТТЫҚ ҚАТАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ БОЛЖАУ ҮШІН МОДЕЛЬДЕУ

Желілік трафикті пайдалану туралы деректерді зерттеуге арналған уақыттық қатарларды талдау және болжау құралы желіні бақылау, ресурстарды басқару және қауіптерді анықтауды қоса алғанда, қолайлы және сапалы желілік қызметтерді ұсыну үшін өте маңызды. Заманауи желінің трафигі күрделі құрылымға ие және желілік құрылғылармен қызмет көрсету үшін пакеттердің түсу жылдамдығы біркелкі емес. Желілік трафикті болжау желідегі жүктемелерді бақылау, деректер ағынын бақылау және желіні басқару кезінде үлкен қызығушылық тудырады. Мұқият таңдалған трафик моделі желілік трафиктің маңызды сипаттамаларын анықтауға және болжауға қабілетті. Бұл мақалада желілік трафиктің мәліметтер жиынтығын болжау үшін NARX сызықтық емес авторегрессиялық экзогендік алгоритмін қолдана отырып модельдеу ұсынылған. NARX – сызықтық емес жүйелерді көрсету үшін қолдануға болатын модельдердің бірі, әсіресе уақыттық қатарлардың мәліметтер жиынтығын модельдеу кезінде. Жасанды нейрондық желі, Левенберг-Марквардттың оқыту алгоритмін қолдана отырып жасалды, оқытылды және сыналды. Болжау үшін бастапқы деректер ретінде пакеттік жылдамдықпен нақты өлшенген желілік трафик алынды. Бастапқы деректерді зерттеу нәтижесінде MSE орташа қателіктің ең жақсы мәні алынды. Сондай-ақ, орташа квадраттық қателіктің дәуірлер санына тәуелділік граfiгі және регрессия граfiгі алынды.

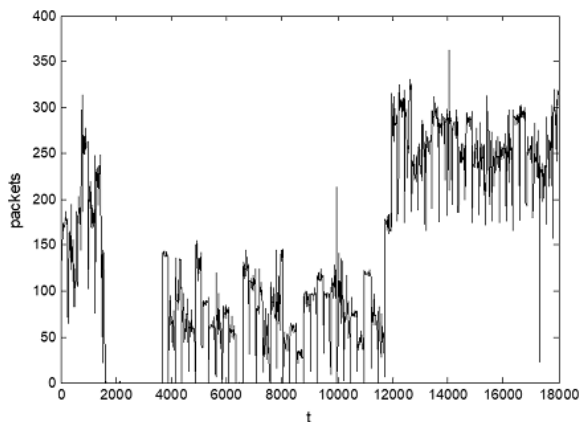
Кілтті сөздер: желілік трафик, болжау, уақыттық қатар, нейрондық желі, сызықтық емес авторегрессия.

Кіріспе

Ақпараттық қызметтер мен Интернетке кеңжолакты қол жеткізу нарықтары қарқынды дамып келеді, сол себепті провайдерлер арасында бәсекелестік артып келеді. Бүгінгі таңда провайдер үшін бәсекелестіктің негізгі факторларының бірі желілік өнімділік болып табылады. Желідегі пайдаланушылар санының өсуімен берілетін ақпарат көлемі артады, бұл ең жоғары жүктеме проблемасының шиеленісуіне әкеледі. Жүктемелердің шындығы қысқа мерзімде ғана байқалады. Пайдалану шығыстарының ұлғаюына байланысты серверлік алаңдарды кеңейту шешімі орынсыз болып табылады. Сонымен қатар, нарықтағы қатаң бәсекелестік жағдайында провайдердің қысқа мерзімді сәтсіздіктері компанияның имиджіне теріс әсер етеді. Желінің сенімділігіне байланысты проблемалардың туындауы (транзиттік тораптардың шамадан тыс жүктелуі, ақпараттың жоғалуы), әдетте, желілік өнімділіктің нашарлауына әкеледі. Желіні басқаруға қатысты маңызды міндеттердің бірі – осы мәселелерді шешуге бағытталған әрекеттерді орындау. Сондықтан, бүгінгі күні болжамдық деректер негізінде желіні басқару, дұрыс шешім қабылдау үшін қажет. Болжамдық деректер желідегі ақпараттық ағындарды басқару мәселесін шешу үшін қажетті ақпаратты ұсынады және басқару негізіндегі пакеттердің жоғалуын болдырмайды.

Материалдар мен әдістер

NARX, SARIMA және BPNN сияқты желілік трафикті болжаудың қолданыстағы модельдерін шолу және талдау нәтижесінде NARX моделі таңдалды, себебі ол алынған болжам дәлдігінің қолайлы нәтижесімен желілік трафикті тиімді зерттейді және уақыт қатарларының тиімділігін арттыру үшін сыртқы ақпаратты пайдалана отырып, көп өзгермелі уақыт қатарын толықтырады [1].



Сурет 1 – UDP хаттама пакеттерінің түсу қарқындылығы

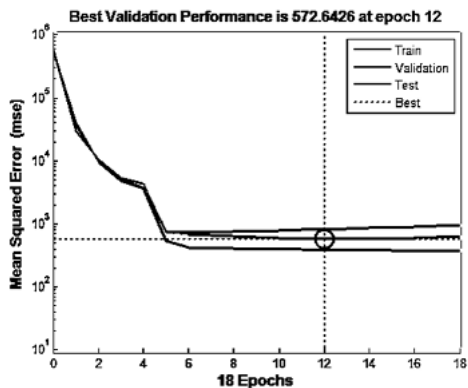
Модельдеу үшін нейрондық желіні оқыту мүмкіндігі бар MatLab кешені таңдалды және бастапқы қатарды болжау үшін бағдарламалық код құрылды. Сыртқы кірістері бар NARX моделінде жасанды нейрондық желіге түсетін бастапқы уақыт қатары салмақ коэффициенттеріне сәйкес өңделеді, содан кейін шығыс деректері қайтадан желілік кіріске еніп, қателікті кері тарату процедурасын ауыстырады. Бұл желіні қайта оқыту кезінде бастапқы оқытудан кейін алынған салмақ коэффициенттерін есепке алуға мүмкіндік береді және өз кезегінде оның жұмысының дәлдігін арттырады.

Динамикалық нейрондар сандық сигналдарды өңдеу барысында кеңінен қолданылады [2]. Қарапайым динамикалық нейрондардың бірі– Хопфилд нейроны. NARX сызықты емес авторегрессиялық желісіне келетін болсақ, онда модификацияланған Хопфилд нейроны қолданылады.

NARX желісі – шығыс кері байланысы бар көп деңгейлі тікелей жіберу желісі, оның шығысы уақыт бойынша кідіріс векторы арқылы өтеді. Сигма тәрізді функция белсендіру функциясы ретінде пайдаланылады. Жасанды нейрондық желінің барлық қабаттары, енгізу және шығарудан басқа, желіге сызықтық емес құбылыстарды модельдеуге мүмкіндік береді.

Нейрондық желіні оқыту үшін сызықты емес оңтайландыру әдісі, яғни Левенберг – Марквард алгоритмі қолданылды, ол орташа квадраттық қателікке қол жеткізуге негізделген және нейрондық желінің жұмысын бағалау үшін орташа квадраттық қателік (MSE) қолданылды [3, 4].

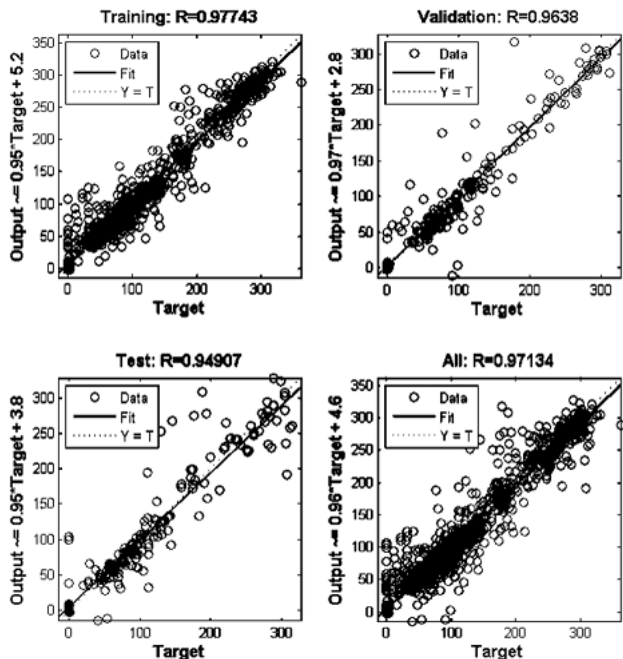
Оқыту процесі мақсатты дәлдік деңгейіне жеткенде аяқталды, ал зерттелген желі 18 дәуірде үйренді. Орташа квадраттық қателіктің (MSE) дәуірлер санына тәуелділік графигі алынды (2-сурет). Бұл оқу процесінің соңына қарай қателіктің жоғарылайтынын көрсетеді.



Сурет 2 – Орташа квадраттық қателіктің дәуірлер санына тәуелділігі

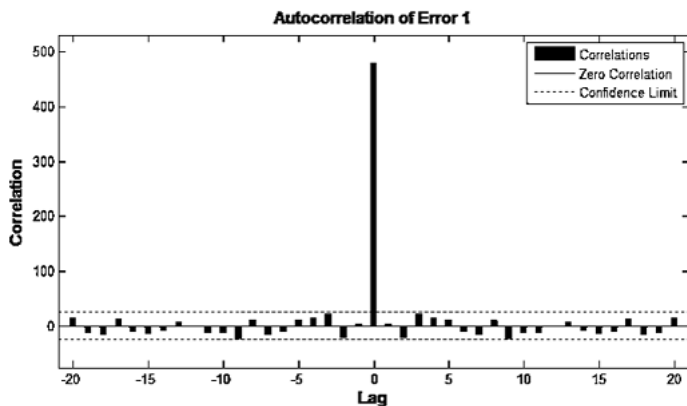
2-суретте валидацияның ең кіші қателігі 572,6426 екенін көруге болады.

Жуықтаудың сапасын талдау үшін желінің шығуын регрессиялық талдау алынды, онда желіні оқыту нәтижелерінің сызықтық регрессиясы қарастырылған үш ішкі жиынтықта және барлық оқыту жиынында құрылған. Әрбір нәтиже үшін корреляция коэффициенті R есептеліп, графиктері салынды (3-сурет).



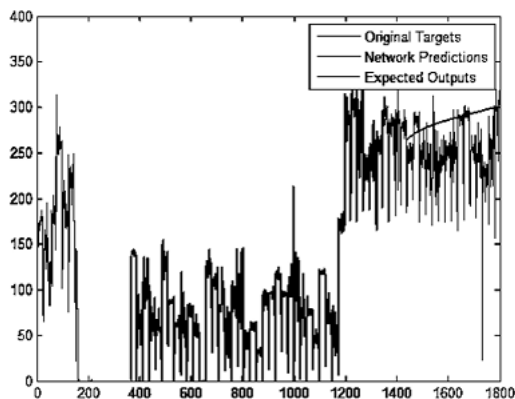
Сурет 3 – Регрессия графикалары

4-суретте қате автокорреляциялық функцияны көрсететін график көрсетілген.



Сурет 4 – Қате автокорреляциялық функция

5-суретте пакеттердің қарқындылығын болжау графигі көрсетілген.



Сурет 5 – Пакеттердің қарқындылығын болжау

Нәтижелер және талқылау

3-суретте NARX моделімен бекітілген шығыс (бекітілген) және мақсатты (нақты) мәндердің регрессиясы көрсетілген, оның тұтас сызығы нақты және бекітілген желі арасындағы ең жақсы сәйкес келетін сызықтық регрессия сызығы оның идеалдан қаншалықты алыс екенін көрсетеді. Бұл ретте R корреляция коэффициентінің мәні бар регрессиялық талдау графиктері алынды, ол оқыту жиынтығы (Train) үшін 0,97743, валидациялық параметр үшін 0,9638, оқытудың ең жақсы тиімділігі үшін (Test) 0,9497, ал барлық оқыту жиынтығы үшін 0,97134 құрады. Бұл деректер жақсы келісімді көрсетеді.

4-суретте нөлдік кідіріс кезінде пайда болған автокорреляциялық функцияның тек бір нөлдік емес мәні көрсетілген (стандартты қателік). Бұл болжам моделінің салыстырмалы түрде жетілгендігін көрсетеді (болжам қателері бір-бірімен байланысты емес, яғни ақ шу). Автокорреляциялық функцияның қалған мәндері сенім аралығынан төмен және нөлге жақын сенімділік аралығының шамамен 95% құрайды.

Қорытынды

Жасанды нейрондық желіні пайдалану негізінде пакеттердің қарқындылығын болжаудың бағдарламалық коды жасалды. Модельдеуде NARX экзогенді кірісі бар авторегрессиялық нейрондық желі архитектурасы қолданылды. Бұл желіде жасырын қабат нейрондарының сызықтық

емес активтендіру функциясы, ал шығыс қабаты сызықтық активтендіру функциясы бар. Валидацияның ең аз қатесінің ең жақсы мәні 572,6426-ға тең болды (жергілікті минимумға жетті). Желінің шығуын регрессиялық талдау графиктері алынды. Оқыту параметрлерін сипаттайтын корреляция коэффициенті Train – 0,97743, Validation – 0,9638, Test (ең жақсы оқыту өнімділігі) – 0,9497 және бүкіл оқу жиынтығы үшін – 0,97134 құрады. Жалғыз нөлдік емес мәні бар кателіктің автокорреляциялық функциясы болжам моделінің салыстырмалы түрде жетілгендігін растайды. Кіріс кателігінің өзара корреляция функциясының графигі барлық корреляциялардың шегінде болатындығын растайды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Serikov, T., Zhetpisbayeva, A., Mirzakulova, S., Zhetpisbayev, K., Ibrayeva, Z., Tolegenova, A., Soboleva, L., Zhumazhanov, B. Application of the NARX neural network for predicting a one-dimensional time series. Eastern – European Journal of Enterprise Technologies. – 5 (4 (113)). – P. 12–19. – 2021. – doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242442>
- 2 Haviluddin, Alfred, R. (2015). Performance of modeling time series using nonlinear autoregressive with eXogenous input (NARX) in the network traffic forecasting. International Conference on Science in Information Technology (ICSITech). – 2015. – doi: <https://doi.org/10.1109/icsitech.2015.7407797>
- 3 Кретов, Д. А., Рузанов, Р. В. Прогнозирование электропотребления энергосбытовой компании с использованием искусственной нейронной сети. – Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2015. – № 2.
- 4 Darrat, A. F., Zhong, M. On testing the random-walk Hypothesis: A model-comparison approach // Financial Review. – 2000. – Т. 35. – No. 3.
- 5 Jiang, C. and Song, F. Sunspot Forecasting by Using Chaotic Time-series Analysis and NARX Network // JCP. – 2011. – 6(7). – P. 1424–1429.
- 6 Ramakrishnan, N., Soni, T. (2018). Network Traffic Prediction Using Recurrent Neural Networks. 2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). doi: <https://doi.org/10.1109/icmla.2018.00035>
- 7 Cirstea, R. G., Micu, D. V., Muresan, G. M., Guo, C., Yang, B. (2018). Correlated Time Series Forecasting using Multi-Task Deep Neural Networks. Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management. doi: <https://doi.org/10.1145/3269206.3269310>
- 8 Zina Boussaada, Octavian Curea, Ahmed Remaci, Haritza Camblong and Najiba Mrabet Bellaaj. A Nonlinear Autoregressive Exogenous (NARX)

Neural Network Model for the Prediction of the Daily Direct Solar Radiation. – Energies 2018, 11, 620.

9 **Willinger, W., Paxson, V., Taqqu, M.** «Self-Similarity and Heavy Tails : Structural Modeling of Network Traffic», in «A practical Guide To Heavy Tails : Statistical Techniques and Applications», Birkhauser, Boston, 1998.

10 **Diaconescu, E.** The use of NARX neural networks to predict chaotic time series // Wseas Transactions on computer research. – 2008. – 3(3). – P. 182–191.

REFERENCES

1 **Serikov, T., Zhetpisbayeva, A., Mirzakulova, S., Zhetpisbayev, K., Ibrayeva, Z., Tolegenova, A., Soboleva, L., Zhumazhanov, B.** Application of the NARX neural network for predicting a one-dimensional time series. Eastern – European Journal of Enterprise Technologies. – 5 (4 (113)). – P. 12–19. – 2021. – doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242442>

2 **Haviluddin, Alfred, R.** (2015). Performance of modeling time series using nonlinear autoregressive with exogenous input (NARX) in the network traffic forecasting. International Conference on Science in Information Technology (ICSITech). – 2015. – doi: <https://doi.org/10.1109/icsitech.2015.7407797>

3 **Kretov, D. A., Ruzanov, R. V.** Prognozirovaniye elektropotrebleniya energosbytovoy kompanii s ispol'zovaniyem iskusstvennoy neyronnoy seti. [Forecasting the power consumption of a power supply company using an artificial neural network] – Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Inzhenernyy vestnik Dona», – 2015. – № 2.

4 **Darrat, A. F., Zhong, M.** On testing the random-walk Hypothesis : A model-comparison approach // Financial Review. – 2000. – Vol. 35. – No. 3.

5 **Jiang, C. and Song, F.** Sunspot Forecasting by Using Chaotic Time-series Analysis and NARX Network // JCP. 2011. 6(7). P. 1424–1429.

6 **Ramakrishnan, N., Soni, T.** (2018). Network Traffic Prediction Using Recurrent Neural Networks. 2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). doi: <https://doi.org/10.1109/icmla.2018.00035>

7 **Cirstea, R. G., Micu, D. V., Muresan, G. M., Guo, C., Yang, B.** (2018). Correlated Time Series Forecasting using Multi-Task Deep Neural Networks. Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management. doi: <https://doi.org/10.1145/3269206.3269310>

8 **Zina Boussaada, Octavian Curea, Ahmed Remaci, Haritza Camblong and Najiba Mrabet Bellaaj.** A Nonlinear Autoregressive Exogenous (NARX) Neural Network Model for the Prediction of the Daily Direct Solar Radiation. – Energies 2018, 11, 620.

9 Willinger, W., Paxson, V., Taqqu, M. «Self-Similarity and Heavy Tails: Structural Modeling of Network Traffic», in «A practical Guide To Heavy Tails: Statistical Techniques and Applications», Birkhauser, Boston, 1998.

10 Diaconescu, E. The use of NARX neural networks to predict chaotic time series // Wseas Transactions on computer research. 2008. 3(3). P.182–191.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

*Т. Г. Сериков¹, Ш. А. Мирзакулова², Б. Е. Хамзина³, *Ж. А. Айсин⁴*

^{1,3,4}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

²Университет Туран,

Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Инструмент анализа данных временных рядов и прогнозирования для изучения данных об использовании сетевого трафика очень важен для предоставления приемлемых и качественных сетевых услуг, включая мониторинг сети, управление ресурсами и обнаружение угроз. Трафик современной сети имеет сложную структуру, неравномерную скорость поступления пакетов для обслуживания сетевыми устройствами. Прогнозирование сетевого трафика представляет значимый интерес при отслеживании перегрузок в сети, контроле потоков данных и сетевого управления. Тщательно подобранная модель трафика способна выявить и предугадать важнейшие характеристики сетевого трафика. В данной статье представлено моделирование с использованием нелинейного авторегрессионного экзогенного алгоритма NARX для прогнозирования наборов данных сетевого трафика. NARX – одна из моделей, которую можно использовать для демонстрации нелинейных систем, особенно при моделировании наборов данных временных рядов. Искусственная нейронная сеть была разработана, обучена и протестирована с использованием алгоритма обучения Левенберга-Марквардта. Исходными данными для прогнозирования является фактический измеренный сетевой трафик со скоростью передачи пакетов. В результате изучения исходных данных получено наилучшее значение наименьшей среднеквадратичной ошибки MSE. А также получен

график зависимости среднеквадратической ошибки от числа эпох и график регрессии.

Ключевые слова: прогнозирование, сетевой трафик, временной ряд, нейронная сеть, нелинейная авторегрессия.

*T. G. Serikov¹, Sh. A. Mirzakulova², B. E. Khamzina³, *Zh. A. Aisin⁴*

^{1,3,4}S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

²Turan University,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 28.02.22.

MODELING FOR NETWORK TRAFFIC FORECASTING USING TIME SERIES

A time series data analysis and forecasting tool for studying network traffic usage data is very important for providing acceptable and high-quality network services, including network monitoring, resource management and threat detection. The traffic of a modern network has a complex structure, uneven packet arrival rate for servicing by network devices. Network traffic forecasting is of significant interest when monitoring network congestion, monitoring data flows and network management. A carefully selected traffic model is able to identify and predict the most important characteristics of network traffic. This article presents a simulation using the nonlinear autoregressive exogenous NARX algorithm for predicting network traffic data sets. NARX is one of the models that can be used to demonstrate nonlinear systems, especially when modeling time series datasets. The artificial neural network was developed, trained and tested using the Levenberg – Marquardt learning algorithm. The initial data for forecasting is the actual measured network traffic with packet transfer rate. As a result of studying the initial data, the best value of the smallest standard error MSE was obtained. A graph of the dependence of the standard error on the number of epochs and a regression graph are also obtained.

Keywords: forecasting, network traffic, time series, neural network, nonlinear autoregression.

<https://doi.org/10.48081/BAEV6115>

***Н. Ж. Толебай¹, Ж. Р. Азимбаев², А. К. Мергалимова³,
Б. Онгар^{4,5}**

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

⁴Академия логистики и транспорта,
Республика Казахстан, г. Алматы;

⁵Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ СО СНИЖЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В данной статье рассматриваются вопросы негативного воздействия на окружающую среду традиционного метода сжигания угля. Для улучшения экологических показателей объектов, сжигающих уголь предлагается технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду с совмещением слоевого и пылевидного сжигания, а также с участием сжигания газообразных веществ. Результаты показывают, что при реализации ряда технических и технологических решений, воздействие объекта, сжигающего уголь, на окружающую среду может снизиться заметно и сделает уголь экологически приемлемым топливом. На самом деле следует больше говорить о применяемой технологии сжигания угля, приводящей к таким показателям. В наиболее общем случае неудачной организацией процесса сжигания можно сделать любое топливо экологически менее дружелюбным к окружающей среде. В последующем развитие тепловой энергетики происходило на основе слоевого сжигания углей в топках котлов, при котором воздействие энергетических объектов на окружающую среду было относительно незначительным (выбросы летучей золы и окислов азота и серы). Более того при пробных экспериментах со сжиганием угля в слое с заданной толщиной слоя было установлено, что уровень образования окислов азота оказался близким к уровню, который традиционно наблюдается при сжигании природного газа.

Ключевые слова: уголь, окружающая среда, природный газ, топливо, экономика, экология, качество.

Введение

В последние годы за углем произошло устойчивое закрепление названия экологически недружелюбного топлива. На самом деле следует больше говорить о применяемой технологии сжигания угля, приводящей к таким показателям. В наиболее общем случае неудачной организацией процесса сжигания можно сделать любое топливо экологически менее дружелюбным к окружающей среде. Например, при сжигании мазута можно «получить» большое образование сажи, сжигание природного газа можно «довести» до неприемлемого уровня по выбросам оксида углерода.

В 50-е годы прошлого столетия, приход угля в сельскую местность был, по существу революционной технологией – население было избавлено от необходимости заготавливания дров на весь отопительный период и от практически постоянного закладывания дров в печи. Этот шаг – переход на сжигание угля в те годы, возможно был более желательным и востребованным, даже относительно перехода на газовое отопление в последние годы. Можно отметить, что в те годы для населения поставлялись Кузнецкий и Карагандинский уголь высокого качества. Появление угля «спасло» скудный лес в большинстве регионов Казахстана.

В последующем развитие тепловой энергетики происходило на основе слоевого сжигания углей в топках котлов. Необходимо отметить, что при слоевом сжигании угля (особенно, с размером частиц «орех», что требуется по инструкции) воздействие энергетических объектов на окружающую среду было относительно незначительным (выбросы летучей золы и окислов азота были многократно меньше относительно уровня, наблюдающегося при пылевидном сжигании, существенно проще схема связывания серы). Однако стремительный рост единичной мощности котельных агрегатов потребовал перехода на пылевидное сжигание углей.

Можно заметить, что пылевидное сжигание достаточно универсально по требованиям к качеству сжигаемого угля. т.к. глубокое измельчение обеспечивает приемлемую экономичность процесса сжигания практически любого угля.

Можно отметить, что переход на пылевидное сжигание по существу изменил систему подготовки топлива к сжиганию. В частности, на всех объектах были установлены мельницы с сушкой топлива в процессе измельчения, создана система регулирования размера выносимых частиц угольной пыли (в виде сепараторов и другие). С другой стороны глубокое измельчение заметно усложнило улавливание летучей золы после котла и в результате появились весьма дорогие многопольные электрические фильтры, эмульгаторы и т.д.

При этом также было обнаружено, что при пылевидном сжигании угля уровень образования окислов азота в несколько раз превосходит уровень, который наблюдается при сжигании природного газа или при сжигании того же угля в слое. Многочисленные методы снижения этого уровня пока не приводят к желательному результату.

Очевидно также, что при пылевидном сжигании практически вся сера, присутствующая в угле переходит, преимущественно, в двуокись серы. Широко применяемые устройства по связыванию окислов серы в дымовых газах весьма громоздки и достаточно дорогие.

Тем не менее энергия, полученная на объекте со сжиганием угля, оснащенный системой приготовления угольной пыли, с дорогими устройствами улавливания летучей золы, имеющая дорогую систему связывания окислов серы, вполне способна конкурировать с энергией на природном газе. Другим отрицательным свойством сжигания угля (в слое или пылевидное) можно считать неизбежное применение паровых турбин, при котором полнота преобразования энергии топлива в электрическую энергию (так называемая полнота цикла относительно маленькая (на уровне 40–45 процентов)

Материалы и методы

Современные экономисты убеждают, что основа рыночной экономики это приобретение продукта по соотношению цена – качество. Если следовать этому принципу, то в большинстве стран сжигание угля в энергетике практически не имеет альтернативы.

С другой стороны, в угле в достаточном количестве присутствует газообразная составляющая (так называемые горючие летучие, для обычных углей от 25 до 50 процентов от массы). Последние исследования показали, что теплота сгорания этого газообразного вещества превосходит теплоту сгорания бедного природного газа. Эти результаты открывают новые перспективы в области технологии использования угля в энергетике. В частности, извлекаемое газообразное топливо может сжигаться в газовой турбине с последующим использованием тепла отработанных газов в топке котла (своего рода аналог интегрированной газификации). В результате доля производства электрической энергии при сжигании угля может возрасти на 5-10 процентов (эта величина прироста обычно достигается на объектах со сжиганием природного газа в режиме с парогазовым циклом).

Оригинальные опыты профессора Темирбаева Д. Ж. показали, что при недостаточности кислорода в зоне выделения азотосодержащих газообразных веществ (это, как правило, зона воспламенения угольной пыли) основная часть будущих окислов азота переходит в инертную форму и происходит заметное снижение концентрации окислов азота в дымовых

газах, которая, при оптимистичной оценке, может приблизиться к уровню, наблюдающемуся при сжигании природного газа. Более того, в результате «предварительного» извлечения части летучих горючих веществ, (своего рода «четвертькоксование») оставшаяся часть угля становится, как бы менее генерирующим окислы азота. Это позволяет рассматривать узел термической обработки своего рода «подавителем» образования окислов азота и только этот фактор может сделать экономически приемлемым установку этого узла в тракте движения топлива. Более того, уголь прошедший термическую обработку будет заметно меньше генерировать окислы азота и при пылевидном сжигании.

Для улучшения экологических показателей объектов, сжигающих уголь можно рассмотреть возможность совмещения слоевого и пылевидного сжигания с участием сжигания газообразных веществ. В этом случае объект, сжигающий уголь может выглядеть следующим образом. На рисунке 1 представлена схема комбинированной технологии сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду.

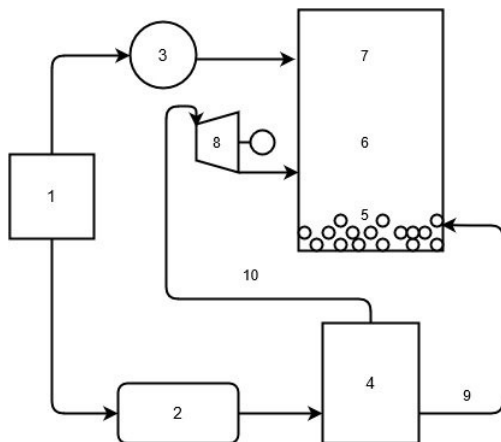


Рисунок 1 – Схема комбинированной технологии сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду.

- 1 – Узел термической обработки угля, 2 – дробильное устройство,
 3 – мельница, 4 – узел термической обработки угля, 5 – зона основное сжигания топлива в слое, 6 – зона сжигания газообразных продуктов,
 7 – зона пылевидного сжигания угля для обеспечения перегрева,
 8 – газовая турбина, 9 – подача твердых продуктов термообработки угля,
 10 – подача газообразных продуктов термообработки угля

На узле приемки поступившего угля (1) производится классификация с выделением частиц угля с размером «орех». При этом, более мелкая часть угля направляется в мельницу(3), для последующего измельчения до уровня угольной пыли. Угольные частицы с размером «орех» подаются в слоевые топки(4), которые по существу будут представлять собой набор предтопок, размещаемых в нижней части топки (на уровне холодной воронки или нижней радиационной части), в которых сжигается основная часть поступившего угля. На уровень, близкий к средней радиационной части (6), в топку поступают отработанные газы газовой турбины (8) (они могут подаваться в слой), сжигающей горючие летучие, извлеченные из угля в специальном узле термической обработки угля. На уровне, соответствующем верхней радиационной части топки (7) происходит пылевидное сжигание части от общего объема угля (обеспечить требуемый перегрев пара).

Результаты и обсуждения

В результате выбросы летучей золы в атмосферу снизятся до уровня соответствующего уровню улавливания выше 99 % при пылевидном сжигании при используемом оборудовании со степенью улавливания 98 %. Можно ожидать, что концентрация окислов азота в дымовых газах снизятся до 500 мг/м³. При стехиометрическом добавлении в слой угля известняка и известкового «молочка» в воду, орошающую стенки скруббера, содержание окислов серы также снизятся до уровня 700–800 мг/м³.

В этой технологии вполне возможно некоторое возрастание потерь тепла с уходящими газами (в основном в связи с повышенным коэффициентом избытка воздуха в части сжигания газообразного вещества и с высоким избытком воздуха при слоевом сжигании) и с механическим недожогом (в связи с возрастанием содержания углерода в «провале»), которые будут своеобразной платой за снижение воздействия на окружающую среду.

Эти результаты показывают, что при реализации ряда технических и технологических решений, воздействие объекта, сжигающего уголь, на окружающую среду может снизиться заметно и сделает уголь экологически приемлемым топливом.

Очевидно, что глобальное загрязнение атмосферы происходит от выбросов с площади конкретной страны из конкретных источников. При назывании угля экологически недружелюбным топливом, из рассмотрения исключается плотность генерации с единицы площади страны, которая «подменяется» на выбросы из конкретного объекта. Если, для примера, сравнить плотность генерации электрической энергии из единицы площади Казахстана и Германии, то она для Казахстана меньше почти в 50 раз. Преобладание сжигания газа в Германии может уменьшить воздействие на глобальное загрязнение в 10 раз. Это означает, что даже при этом, участие

Казахстана в глобальном загрязнении будет меньше величины для Германии в 5 раз. Даже при таком упрощенном сравнении вполне можно сделать вывод о возможности применения для стран с малой плотностью генерации заметно «смягченные» нормативы по воздействию на окружающую среду.

Выводы

Для конкретизации этого вывода можно рассмотреть улавливание летучей золы. Совершенно очевидно, что по мере повышения степени улавливания золы количество золы, поступающей в атмосферу и воздействующей на окружающую среду, будет уменьшаться линейно с выходом на нулевой выброс при достижении 100 процентного улавливания. С такой же степенью очевидности можно утверждать, что затраты на повышение степени улавливания будут расти далеко не по линейному закону, и правильнее будет говорить об экспоненциальной зависимости, начиная с определенной степени улавливания (ориентировочно с величины 96 процентов).

Это означает, что один рыночный параметр - качество (уменьшение выбросов золы) улучшается по линейному закону (с достаточно малым наклоном), в то время как второй параметр – цена, возрастает по достаточно крутой экспоненте - ухудшается. Такое соотношение снижения воздействия на окружающую среду и роста затрат на снижение выбросов, после определенной степени улавливания, делает неизбежным появление экономически (рыночно) оправданной степени улавливания золы. Для многих стран эта степень может находиться на уровне 98 процентов. Количество летучей золы, поступающей в атмосферу от предложенной технологии будет соответствовать улавливанию (при пылевидном сжигании угля) на уровне выше 99 процентов. Примерно такие же величины могут быть установлены для окислов серы и азота, которые будут относительно дешево достигаться при использовании предложенной технологии сжигания углей

Если рассматривать использование возобновляемых источников энергии (наверно правильнее будет их называть неисчерпаемые), которое, как правило, противопоставляется сжиганию угля, по рыночному принципу цена – качество можно относительно быстро установить, что для Казахстана наиболее экономически приемлемым окажется использование малых и очень малых источников гидравлической энергии с строительством автономных миниГЭС (с установленной мощностью в несколько сотен кВт) и особенно микроГЭС (на уровне нескольких десятков кВт). Если, при этом ориентироваться на широкое применение гидравлического аккумулирования энергии потоков воды, по схеме предложенной в Казахстане, то привлекательность малых и особенно, микроГАЭС, с сумарной мощностью, больше мощности всех действующих ГЭС Казахстана, становится бесспорной. Очевидно, что

применение автономных источников заметно уменьшит потери в сетях, особенно с малым напряжением при транспортировании малых объемов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Алияров, Б. К., Алиярова, М. Б.** Казахстан: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность и устойчивость развития энергетики. – Алматы : Гылым, 2010. – 277 с.

2 **Алияров, Б. К., Алиярова, М. Б.** Сжигание Казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных. – Алматы : Гылым, 2012. – 304 с.

3 **Ермагамбет, Б. Т., Касенов, Б. К. и др.** Чистые угольные технологии : теория и практика. – Караганда : «TENGR Ltd», 2013. – 276 с.

4 **Алияров, Б. К., Мергалимова, А. К.** О преимуществах использования газа для растопки котлоагрегатов // Материалы I международной научно-практической конференции студентов и аспирантов / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2017. – С. 6–10.

5 Пат. 2450. Способ безмазутной растопки котлоагрегатов / Алияров Б. К., Мергалимова А. К.; опубл. 30.10.2017, Бюл. № 20.

6 **Алияров, Б. К., Мергалимова, А. К.** На ТЭС и котельных мазут или сжатый газ? // Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 20-летию Евразийского национального университета им Л. Н. Гумилева «Актуальные проблемы транспорта и энергетики : пути их инновационного решения». – Астана, 2016. – С. 43–46.

7 Обоснование перспектив применения инновационных технологий комплексной и глубокой переработки углей в Приморском крае АНО «Центр стратегических исследований топливно-энергетического комплекса дальнего востока». – 2013.

8 **Aliyarov, B., Mergalimova, A., Zhalmagambetova, U.** Application of coal thermal treatment technology for oil-free firing of boilers // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2018. – Vol. 2. – P. 45–54.

9 **Алияров, Б. К., Алиярова, М. Б.** Сжигание Казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных. – Алматы : Гылым, 2012. – 304 с.

10 **Бухман, М. А.** Патент РК № 8444, кл. F23D-1/02, БИ № 1, 2003 «Способ сжигания топлива и устройство для его осуществления».

REFERENCES

1 **Aliyarov, B. K., Aliyarova, M. B.** Kazakhstan: energeticheskaya bezopasnost', energeticheskaya effektivnost' i ustojchivost' razvitiya energetiki.

[Energy security, energy efficiency and sustainability of energy development]. – Almaty : Gylm, 2010. – 277 p.

2 **Aliyarov, B. K., Aliyarova, M. B.** Szhiganie Kazhastanskikh uglej na TES i na krupnyh kotel'nyh. [Burning of Kazakh coal at thermal power plants and large boiler houses]. – Almaty : Gylm, 2012. – 304 p.

3 **Ermagambet, B. T., Kasenov B. K. i dr.** Chistye ugol'nye tekhnologii: teoriya i praktika. [Clean coal technologies: theory and practice]. – Karaganda : «TENGRI Ltd», 2013. – 276 p.

4 **Aliyarov, B. K., Mergalimova, A. K.** O preimushchestvah ispol'zovaniya gaza dlya rastopki kotloagregatov [About the advantages of using gas for kindling boilers] // Materialy I mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i aspirantov / Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – Barnaul : Izd-vo AltGTU, 2017. – P. 6–10.

5 Pat. 2450. Sposob bezmazutnoj rastopki kotloagregatov / Aliyarov B. K., Mergalimova A. K.; opubl.30.10.2017, Byul.№20. [The method of oil-free kindling of boilers]

6 **Aliyarov, B. K., Mergalimova, A. K.** Na TES i kotel'nyh mazut ili szhatyj gaz? [Fuel oil or compressed gas at thermal power plants and boiler houses?] // Mater. IV Mezhdunar. nauch. - prakt. konf., posvyashchennaya 20-letiyu Evrazijskogo nacional'nogo universiteta im L.N. Gumileva «Aktual'nye problemy transporta i energetiki: puti ih innovacionnogo resheniya». – Astana, 2016. – P. 43–46.

7 Obosnovanie perspektiv primeneniya innovacionnyh tekhnologij kompleksnoj i glubokoj pererabotki uglej v Primorskom krae ANO «Centr strategicheskikh issledovanij toplivno-energeticheskogo kompleksa dal'nego vostoka». [Substantiation of the prospects for the use of innovative technologies for complex and deep processing of coal in the Primorsky Territory of the ANO]. – 2013.

8 **Aliyarov, B., Mergalimova, A., Zhalmagambetova, U.** Application of coal thermal treatment technology for oil-free firing of boilers [Application of coal heat treatment technology for oil-free combustion of boilers] // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2018. – Vol 2. – P. 45–54.

9 **Aliyarov, B. K., Aliyarova, M. B.** Szhiganie Kazhastanskikh uglej na TES i na krupnyh kotel'nyh. [Burning of Kazakh coal at thermal power plants and large boiler houses]. – Almaty : Gylm, 2012. – 304 p.

10 **Buhman, M. A.** Patent RK № 8444, kl. F23D-1/02, BI № 1, 2003 «Sposob szhiganiya topliva i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya». [Method of fuel combustion and device for its implementation]

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*Н. Ж. Төлебай¹, Ж. Р. Азимбаев², А. К. Мерғалимова³, Б. Онгар^{4,5}

^{1,2,3}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;

⁴Логистика және көлік академиясы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

⁵Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

КӨМІРДІ ЖАҒУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ АЗ МӨЛШЕРДЕ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРІ

Бұл мақалада көмірді жағудың дәстүрлі әдісінің қоршаған ортаға теріс әсері қарастырылады. Көмірді жағатын объектілердің экологиялық көрсеткіштерін жақсарту үшін қабатты және шаңды жағуды үйлестіре отырып, сондай-ақ газ тәріздес заттарды жағудың қатысуымен қоршаған ортаға әсерін азайтатын көмірді жағу технологиясы ұсынылады. Нәтижелер бірқатар техникалық және технологиялық шешімдерді іске асыру кезінде көмірді жағатын объектінің қоршаған ортаға әсері айтарлықтай төмендеп, көмірді экологиялық қолайлы отын ете алатындығын көрсетеді. Шын мәнінде, осындай көрсеткіштерге алып келетін көмірді жағудың қолданылатын технологиясы туралы көбірек айту керек. Жалпы жағдайда, жану процесін сәтсіз ұйымдастыру кез-келген отынды қоршаған ортаға экологиялық жағынан зиян келтіреді. Кейіннен жылу энергетикасының дамуы қазандықтардың оттықтарында көмірді қабатты жағу негізінде жүргізілді, онда энергетикалық объектілердің қоршаған ортаға әсері салыстырмалы түрде аз болды (ұшатын күл, азот пен күкірт оксидтерінің шығарындылары). Сонымен қатар, белгілі бір қабат қалыңдығы бар қабатта көмір жағумен жүргізілген сынақ тәжірибелерінде азот оксидтерінің түзілу деңгейі табиғи газды жағу кезінде дәстүрлі түрде байқалатын деңгейге жақын екендігі анықталды.

Кілтті сөздер: көмір, қоршаған орта, табиғи газ, отын, экономика, экология, сапа.

*N. Zh. Tolebay¹, Zh. R. Azimbayev², A. K. Mergalimova³, B. Ongar^{4,5}

^{1,2,3} S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

⁴Academy of Logistics and Transport,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

⁵Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 28.02.22.

COAL COMBUSTION TECHNOLOGY WITH REDUCED ENVIRONMENTAL IMPACT

This article discusses the negative impact of the traditional method of burning coal on the environment. To improve the environmental performance of coal-burning facilities, a technology for burning coal with a reduced impact on the environment is proposed with a combination of layered and pulverized combustion, as well as with the combustion of gaseous substances. The results show that with the implementation of a number of technical and technological solutions, the impact of a coal-burning facility on the environment can decrease markedly and make coal an environmentally acceptable fuel. In fact, we should talk more about the coal burning technology used, which leads to such indicators. In the most general case, an unsuccessful organization of the combustion process can make any fuel less environmentally friendly to the environment. Subsequently, the development of thermal energy took place on the basis of layered coal burning in boiler furnaces, in which the impact of energy facilities on the environment was relatively insignificant (emissions of fly ash and oxides of nitrogen and sulfur). Moreover, during trial experiments with the combustion of coal in a layer with a given layer thickness, it was found that the level of formation of nitrogen oxides turned out to be close to the level that is traditionally observed during the combustion of natural gas.

Keywords: coal, environment, natural gas, fuel, economy, ecology, quality.

***В. Ф. Хацевский¹, Т. В. Гоненко²**

¹Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Омский государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Омск

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В работе представлен предварительный анализ перспективности и эффективности применения современных комбинированных ветроэнергетических установок в отдельных областях Республики Казахстан. Анализируется эффективность системы отопления помещений на основе ветроэнергетической установки (ВЭУ), которая преобразует энергию ветра в электрическую энергию, в совокупности с тепловым аккумулятором, который преобразует полученную электрическую энергию в тепло и сохраняет его на длительный период отсутствия ветра. Важной отличительной особенностью аккумулятора является положительное медико-биологическое воздействие материала на теплоноситель, тепловой аккумулятор обладает большим ресурсом работы и подавляет развитие вредных микроорганизмов в рабочем объеме. Доказана функциональность системы управления установкой, заключающаяся в изменении сопротивления нагрузки генератора для достижения оптимального режима работы ветроколеса и ВЭУ в целом.

Внедрение комбинированной ветроэнергетической установки в существующие энергосистемы приведет к уменьшению затрат на производство электрической и тепловой энергии, а также уменьшение стоимости энергии для населения с уменьшением влияния загрязнения окружающей среды в энергосистемах Республики Казахстан, автором предложен ряд мероприятий, которые положительно повлияют на развитие ветроэнергетики в стране.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, тепловой аккумулятор, теплоэлектронагреватели, оптимальный режим работы, электрическая энергия.

Введение

Целью анализа эффективности использования проекта подстанции с комбинированной ветряной энергетической установкой является внедрение в существующие энергосистемы новых и передовых методов уменьшения затрат на производство электрической и тепловой энергии, а также уменьшение стоимости энергии для населения с уменьшением влияния загрязнения окружающей среды в энергосистемах Республики Казахстан.

Общеизвестно, что многие альтернативные источники энергии, такие как ветер или солнечное излучение обладают значительным непостоянством, и не могут обеспечить гарантированное энергоснабжение потребителя [2, 9]. Важным является и тот факт, что зачастую от системы электроснабжения на основе альтернативных источников энергии требуется уменьшение затрат и на отопление помещений. В настоящее время имеется возможность существенно упростить и удешевить системы отопления производственных и жилых помещений.

В данной статье анализируется эффективность системы отопления помещений на основе ветроэнергетической установки (ВЭУ), которая преобразует энергию ветра в электрическую энергию, в совокупности с тепловым аккумулятором, который преобразует полученную электрическую энергию в тепло и сохраняет его на период отсутствия ветра.

Материалы и методы

Стационарный тепловой аккумулятор (СТЭ).

В настоящее время промышленность выпускает СТЭ, предназначенные для запасаания тепловой энергии в период времени, когда имеется ее избыток, и сохранения в течение довольно длительного времени с последующей отдачей теплоты потребителю [2, 9].

Принцип работы СТЭ основан на поглощении тепловой энергии специальным твердым дисперсным материалом без фазового перехода. Аккумулированная тепловая энергия может забираться водой, воздухом или за счет теплопроводности. Важной отличительной особенностью аккумулятора является положительное медико-биологическое воздействие материала на теплоноситель, в частности при использовании воздуха, последний приобретает ингаляционные свойства. Кроме того, тепловой аккумулятор обладает большим ресурсом работы и подавляет развитие вредных микроорганизмов в рабочем объеме.

В качестве нагревательных элементов в тепловом аккумуляторе используются теплоэлектронагреватели (ТЭНы), которые системой автоматизированного управления соединяются как последовательно, параллельно, так и могут подключаться поочередно. Нагреваемое рабочее тело СТЭ выполнено в виде электронагревательной (теплоаккумулирующей)

вставки, изготовленной из талькового камня в форме отдельных блоков, в которых проделаны пазы для установки ТЭНов.

Нагреваемое рабочее тело – тальковый камень (талькохлорит, талькокарбонат, талькомагнезит, печной камень и др.) это экологически чистая горная порода, обладающая высокой теплоемкостью, термостойкостью и теплопередачей. Поэтому благодаря высоким теплотехническим качествам и оздоровительному влиянию на состояние человека, талькохлорит последние два столетия широко применяется в Финляндии, России и Италии для изготовления печей, каминов и других отопительных приборов. Нагреваемое рабочее тело может изготавливаться с использованием любого другого термостойкого твёрдого материала, при схожих тепловых характеристиках с минералом «тальковый камень» (талькохлорит, талькокарбонат, талькомагнезит, печной камень и др.)

Важным является то, что практически вся энергия, получаемая СТЭ, преобразуется в тепло, так что его КПД близко к 100 %.

Ветроэнергетическая установка.

В настоящее время промышленность выпускает ВЭУ малого класса (до 100 кВт) и среднего класса (до 1000 кВт) с вертикальной осью вращения. Основные его преимущества в сравнении с горизонтально-осевыми установками привлекают внимание все большего числа разработчиков, ученых и потребителей, что со временем может изменить мировой количественный перевес ВЭУ этого типа. [2, 9]. Вертикально-осевые ВЭУ имеют ряд преимуществ – это отсутствие необходимости ориентации на ветер, более простая технология изготовления, а также малая шумность.

Результаты и обсуждения

Рассмотрено одно из возможных применений ВЭУ – это система отопления, основанная на использовании энергии ветра [2].

Основное назначение этой системы – уменьшение затрат на отопление помещения путем использования энергии ветра.

Принцип функционирования системы следующий: полученная энергия от ветроколеса, преобразовывается в электрическую, а затем вся электрическая энергия преобразовывается в тепловую.

Тепловая энергия при этом накапливается в СТЭ, который является источником тепловой энергии, когда другие источники энергии недоступны. При этом ВЭУ должна максимально эффективно использовать энергию ветра [2]. Для управления электрической мощностью, получаемой от генератора, используется система управления отбором электрической мощности.

Основные требования к этой системе формулируются следующим образом [5, 6, 7]: в процессе работы система управления должна стремиться отбирать такую мощность, которая обеспечивает оптимальный режим работы

ветроколеса для достижения максимально возможного в этих условиях коэффициента использования энергии ветра (КИЭВ).

Основными данными для системы управления являются характеристики ветроколеса и генератора, применяемые в комбинированной системе отопления. Характеристики ветроколеса описываются следующими параметрами: зависимостью оптимальной мощности ветроколеса от скорости ветра и зависимостью оптимальной частоты вращения ветроколеса от скорости ветра [2].

Используя известный метод наложения характеристик ветроколеса и генератора ранее были получены значения выпрямленного напряжения ВЭУ от скорости ветра при оптимальном режиме работы ветроколеса, представленные на рисунке 1 [2].

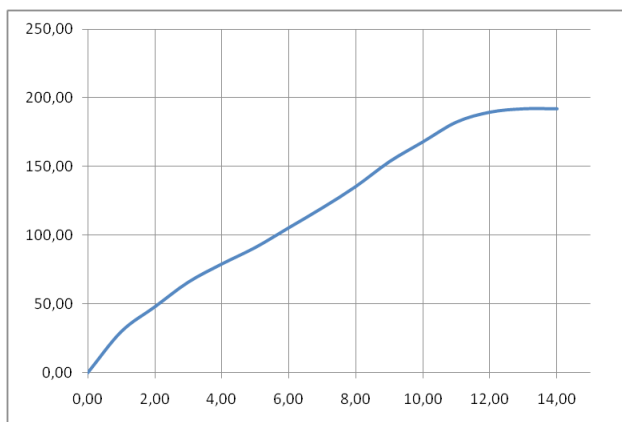


Рисунок 1 – Зависимость выпрямленного напряжения ВЭУ от скорости ветра

Функциональность системы управления заключается в следующем: при достижении определенного порога выпрямленного напряжения, дополнительно подключаются, либо отключаются, ТЭНы, изменяя сопротивление нагрузки генератора для достижения оптимального режима работы ветроколеса и ВЭУ в целом.

Выводы

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что система отопления помещений на основе ветроэнергетической установки, которая преобразует энергию ветра в электрическую энергию, в совокупности с тепловым аккумулятором, который преобразует полученную электрическую энергию в тепло и сохраняет его на период отсутствия ветра показала свою

эффективность [4...10] и ее внедрение в существующие энергосистемы, приведет к уменьшению затрат на производство электрической и тепловой энергии, а также уменьшение стоимости энергии для населения с уменьшением влияния загрязнения окружающей среды в энергосистемах Республики Казахстан. Развитие этого направления энергетики является государственной задачей с точки зрения экономики и для решения социальных проблем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Попель, О. С.** Перспективы развития возобновляемых источников энергии: обобщенные показатели // Энергия : экономика, техника, экология. – 2007. – № 3. – С. 6–11.

2 **Грахов, Ю. В. Матвеев, О. В. Соломин, Е. В.** Программно-математическая модель ветроэнергетической установки // Материалы V МНПК «Возобновляемые источники энергии. Ресурсы» – М., 2008. – С. 41–42.

3 **Волович, Г. И.** Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. 2-е изд., испр. – М. : «Додэка-XXI», 2007. – 528 с.

4 **Хацевский, К. В.** Политические аспекты внедрения ветроэлектростанций в энергосистему России / К. В. Хацевский, Е. А. Кукарекин, М. В. Куц, А. В. Симаков // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LX междунар. студ. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Изд. АНС «СибАК». – 2017. – № 12 (59). – С. 450–454.

5 **Лисицын, А. Н.** О перспективах ветроэнергетики в современном мире / А. Н. Лисицын, Н. М. Задорожная // Инновационные технологии в науке и образовании: Сборник статей V Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2017. – С. 36–42.

6 **Серебряков, Р. А.** Современное состояние, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики / Р. А. Серебряков, С. С. Доржиев, Е. Г. Базарова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 3. – С. 13–20.

7 **Бубенчиков, А. А.** Проблемы применения ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой / А. А. Бубенчиков [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 5-2 (36). – С. 39–43.

8 **Николаев, В. Г.** Оценка ветроэнергетического потенциала России / Николаев В. Г. // Энергетик. – 2011. – №. 9. – С. 37–49.

9 **Шагаров, Д. В.** Проблемы выбора и применения электрогенераторов для ветроэнергетической установки / Д. В. Шагаров, Е. М. Приходько,

К. В. Хацевский // Актуальные вопросы энергетики: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – С. 188–192.

10 **Лебедев, И. С.** Оптимизация конструкции конфузора ветроэнергетической установки для регионов с нестабильно-малым ветровым давлением / И. С. Лебедев, А. А. Бубенчиков, В. Н. Горюнов, К. В. Хацевский // Вестник МЭИ. – 2019. – № 1. – С. 14-19. – DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-14–19.

REFERENCES

1 **Popel, O. C.** Perspektivy razvitiya vozobnovlyаемikh istochnikov energii: obobshchennyye pokazately [Popel O. S. Prospects for Renewable Energy: generalized indicators]. [Energiya : ekonomika, tekhnika, ekologiya.//Energy: economics, technology, ecology]. – 2007. – № 3. – P. 6–11.

2 **Grakhov, Yu. V., Matveenko, O. V., Solomin, E. V.** Programmno-matematicheskaya model vetroenergeticheskoy ustanovki [Software and mathematical model of wind power plant] // Materialy VMNPK “Vozobnovlyаемie istochniki energii. Resursy» // [Materials V MNPC “Renewable energy sources. Resources»]. – Moscow, 2008. – P. 41–42.

3 **Volovich, G. I.** Skhemotekhnika analogovikh i analogo-szifrovikh elektronnykh ystroystv. 2-e izd., ispr. [Circuitry of analog and analog-to-digital electronic devices. 2-nd ed., revised]. – Moscow : «Dodeca-XXI», 2007. – 528 p.

4 **Khatsevskiy, K. V.** Politicheskie aspekty vnedreniya vetroelektrostantsiy v energosistemu Rossii / K. V. Khatsevskiy, E. A. Kukarekin, M. V. Kuc, A. V. Simakov [Khatsevskiy K. V. Political aspects of the introduction of wind power plants in the energy system of Russia / K. V. Khatsevskiy, E. A. Kukarekin, M. V. Kuts, A. V. Simakov] // Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki: sb. st. po mat. LX mezhdunarodnoy studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii – Novosibirsk : Izd. ANS «SibAK». [Scientific community of students of the XXI century. Technical sciences: mat. LX International Student Scientific and Practical Conference-Novosibirsk : SibAK Publishing House]. – 2017. – № 12 (59). – P. 450–454.

5 **Lisitsyn, A. N.** O perspektivah vetroenergetiki v sovremennom mire / A. N. Lisitsyn, N. M. Zadorozhnaya – Penza [Lisitsyn A. N. About the prospects of wind energy in the modern world / A. N. Lisitsyn, N. M. Zadorozhnaya] Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Sbornik statej V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii [Innovative technologies in science and education: Collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference]. – Penza. – 2017. – P. 36–42.

6 **Serebryakov, R. A.** Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya vetroenergetiki / R. A. Serebryakov, S. S. Dorzhiev, E. G. Bazarova [Serebryakov R. A. Modern state, problems and prospects of wind power development / R. A. Serebryakov, S. S. Dorzhiev, E. G. Bazarova] Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk [Actual problems of the humanities and natural sciences]. – 2016. – №. 3. – P. 13–20.

7 **Bubenchikov, A. A.** Problemy primeneniya vetroenergeticheskikh ustanovok v regionah s maloj vetrovoj nagruzkoj / A. A. Bubenchikov [i dr.] [Bubenchikov A. A. Problems of the application of wind turbines in areas with low wind load / A. Bubenchikov A. [et al.] Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal.] – 2015. – № 5–2 (36). – P. 39–43.

8 **Nikolaev, V. G.** Ocenka vetroenergeticheskogo potentsiala Rossii / Nikolaev V. G. [Nikolaev V. G. Evaluation of the wind energy potential of Russia] Nikolaev V. G. // Energetik. – 2011. – № 9. – P. 37–49.

9 **Shagarov, D. V.** Problemy vybora i primeneniya elektrogeneratorov dlya vetroenergeticheskoy ustanovki / D. V. Shagarov, E. M. Prihod'ko, K. V. Khatsevskiy [Shagarov D. V. Problems of selection and application of electric generators for a wind power plant / D. V. Shagarov, E. M. Prihodko, K. V. Khatsevskiy] Aktual'nye voprosy energetiki: materialy vs Rossijskoy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem] Actual issues of power engineering: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international cooperation. participation.] – Omsk : Izd-vo OmSTU, 2018. – P. 188–192.

10 **Lebedev, I. S.** Optimizatsiya konstrukcii konfuzora vetroenergeticheskoy ustanovki dlya regionov s nestabil'no-malym vetrovym davleniem / I. S. Lebedev, A. A. Bubenchikov, V. N. Goryunov, K. V. Khatsevskiy [Lebedev I. S. Design optimization of a confuser windmills to regions with unstable low wind pressure / I. Lebedev, A. A. Bubenchikov, V. N. Goryunov, K. V. Khatsevskiy // Vestnik MEI [MPEI Vestnik.] – 2019. – No. 1. – P. 14–19. – DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-14-19.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*В. Ф. Хацевский¹, Т. В. Гоненко²

¹Торайгыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

²Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Омбы қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

ҚҰРАМДАСТЫРЫЛҒАН ЖЕЛ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫНЫ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ

Жұмыста Қазақстан Республикасының жекелеген облыстарында заманауи құрамдастырылған жел энергетикалық қондырғыларды қолданудың перспективалылығы мен тиімділігіне алдын ала талдау жасалған. Желдің энергиясын электр энергиясына түрлендіретін жел энергетикалық қондырғы (VEU) негізінде үй-жайларды жылыту жүйесінің тиімділігі алынған электр энергиясын жылуға түрлендіретін және желдің болмауының ұзақ кезеңіне сақтайтын жылу аккумуляторымен бірге талданады. Аккумулятордың маңызды ерекшелігі материалдың жылу тасығышқа оң медициналық-биологиялық әсері болып табылады, жылу аккумуляторы үлкен жұмыс ресурсына ие және жұмыс көлемінде зиянды микроорганизмдердің дамуын басады. Жел дөңгелегі мен тұтастай алғанда VEU жұмысының оңтайлы режиміне қол жеткізу үшін генератор жүктемесінің кедергісін өзгертуден тұратын қондырғыны басқару жүйесінің функционалдылығы дәлелденді.

Қолданыстағы энергия жүйелеріне құрамдастырылған жел энергетикалық қондырғыны енгізу электр және жылу энергиясын өндіру шығындарының азаюына, сондай-ақ Қазақстан Республикасының энергия жүйелеріндегі қоршаған ортаның ластануының әсерін азайта отырып, халық үшін энергия құнының азаюына әкеледі, автор елдегі жел энергетикасының дамуына оң әсер ететін бірқатар іс-шараларды ұсынды.

Кілтті сөздер: жел энергетикалық қондырғылар, жылу аккумуляторы, жылу электр жылытқыштар оңтайлы жұмыс режимі, электр энергиясы.

**V. F. Khatsevskiy¹, T. V. Gonenko²*

*¹Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;*

*²Omsk State Technical University,
Russian Federation, Omsk.*

Material received on 28.02.22.

ANALYSIS OF COMBINED WIND POWER PLANT APPLICATION EFFICIENCY

The paper presents a preliminary analysis of the prospects and efficiency of using modern combined wind power plants in certain regions of the Republic of Kazakhstan. The efficiency of the wind power plant (WEP) – based room heating system is analyzed, which converts wind energy into electric energy, in combination with a heat accumulator, which converts the obtained electric energy into heat and preserves it for a long period of absence of wind. An important distinguishing feature of the accumulator is the positive biomedical effect of the material on the coolant, the heat accumulator has a large resource of work and suppresses the development of harmful microorganisms in the working volume. The functionality of the plant control system is proved, which consists in changing the load resistance of the generator in order to achieve the optimal mode of operation of the windwheel and HEU as a whole.

The introduction of a combined wind power plant in existing power systems will lead to a decrease in the cost of producing electric and thermal energy, as well as a decrease in the cost of energy for the population with a decrease in the impact of environmental pollution in the energy systems of the Republic of Kazakhstan, the author proposed a number of measures that will positively affect the development of wind power in the country.

Keywords: wind power plants, heat accumulator, heat heaters optimal operation mode, electrical energy.

<https://doi.org/10.48081/POCJ1209>

***M. V. Dolgov¹, A. A. Baubek², M. G. Zhumagulov³,
A. M. Gribkov⁴, S. A. Glazyrin⁵**

^{1,2,3,5}L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

⁴Kazan State Power Engineering University,
Russian Federation, Kazan

POSSIBILITY OF WATER-OIL EMULSION COMBUSTION

The article describes a device developed by the authors for wave treatment of water-oil emulsion for preparation of water-oil emulsion for combustion. High efficiency of hydrocarbon fuel combustion is one of the main indicators when choosing a method of fuel mixture preparation. The scheme of an innovative vortex burner for combustion of water-oil emulsion is presented. A review of existing equipment for preparation of high quality emulsion is made. The necessity of forced oil dehydration for high quality combustion in burners is refuted. The choice of material for the dispersant body with regard to corrosion, cavitation and wear resistance requirements is presented. The analysis was carried out in order to reveal the relations of transformation of physical-chemical properties of water-oil emulsion (sedimentation and aggregative stability, structural viscosity) from temperature and from the volume of water in them. Knowledge of these physical-chemical parameters is essential to ensure the efficiency of atomization and stable combustion of the fuel under study. A methodology for determining the dynamic viscosity using a capillary viscometer with results obtained in different ranges of temperature changes of emulsified fuel preparation is presented. Data on the density of oil-water emulsion as a function of water concentration at 70 °C was obtained. The dependence of stability of emulsion based on fuel oil M-100 from settling time at 20 °C has been analysed. When using wave treatment dispersant, stable water-oil emulsions are obtained, suitable for use in power engineering as fuel.

Keywords: fuel oil, water-oil emulsion, dispersant, capillary viscometer.

Introduction

The task of clean combustion of hydrocarbon fuels has been solved for decades, resulting in a wealth of scientific and experimental experience, but research work in this direction continues unabated. An important parameter is the stoichiometric composition of the fuel mixture. As a result of swirling fuel and oxidiser flow the free pass length is increased as well as their stay in the burner channel. The paper describes the experimental results for preparation of water-oil emulsion for combustion in a vortex burner providing a stable vortex at the stage of mixing and preignition [1]. The vortex gives almost all the fuel a chance to react. Moreover, the mixing of fuel and oxidiser, given the correct stoichiometry, results in a uniform combustible mixture, which will burn better and almost completely in the burner channel. Fig. 1 illustrates the proposed burner device designed for burning water-oil emulsion (WOE) with variable moisture content up to 30 % [2].



Figure 1 – Burner device for burning WOE

Organizing the preparation of fuel for combustion in oil-fired boiler plants, ensuring the efficiency and reliability of burner devices becomes of primary importance. There is an acute problem with the preparation of the fuel mixture for combustion, caused by many factors, along with economic ones, which do not sufficiently satisfy all the necessary indicators of fuel before direct combustion [3].

The main task of the work is to investigate the rheological and sedimentation properties of the water-fuel emulsion.

The combustion stage is preceded by homogenisation of the water-fuel mixture using a dispersant. Fig. 2 illustrates the experimental setup for preparation of water-oil emulsion for combustion.



Figure 2 – Dispersion system for watered fuel oil

This study aims to investigate the properties of WOE prepared through the use of a wave treatment dispersant. In the preparation of water-fuel emulsions, the quality selection of emulsion preparation devices is of paramount importance. There are several criteria for determining the quality of emulsions. One of the most important is dispersity, which has a direct impact on emulsion conductivity, viscosity and stability. Water is uniformly distributed in the fuel mass, and as the number of water droplets in the fuel increases and its size decreases, the dispersity increases, which directly affects the quality of the emulsion produced.

Based on misconceptions about the stability of emulsions, many researchers have been found to use the term ‘blending’, despite the fact that the technology they use is emulsification. While blending is convenient for fuels with relatively similar boiling points, emulsification should be used for fuel blends with different boiling points so that the benefit from micro-blending can be reflected in fuel atomisation. Secondary atomisation resulting from the micro-bursting of emulsified fuel and fuel oxygenation are responsible for improved combustion, performance and CO emissions. The latent heat of vapour formation has been found to be responsible for the reduction of NO_x emissions [4].

Experimental studies of the effect of emulsion fuels on combustion, performance and emission have been carried out before. The emulsion

characteristics were determined using an optical electron microscope, emulsion stability test [5].

Changes in temperature and droplet diameter over time were observed. The combustion of the emulsion droplets was divided into four stages, with the characteristics of each stage varying little depending on the water volume ratio [6].

The problems of emulsion formation in water and the stability of the emulsified oil during storage were solved using a laser diffraction particle size analyzer, image analysis and oil emulsion volume determination [7].

The research of influence of inhomogeneous system parameters on emulsification intensity at complex influence of mechanical stirring and ultrasonic oscillations was carried out. We used methods of analytical review of the results of ultrasonic emulsification of heterogeneous systems, analytical study of the propagation of ultrasonic vibrations through a layer of two-component emulsion, the experimental study of emulsification of immiscible liquids under mechanical agitation in the field of ultrasonic vibrations [8].

The principle of high quality emulsion production equipment is based on the phenomenon of cavitation. One of the possible options for the preparation of watered fuel oil with moisture content up to 20 % is the use of hydrodynamic cavitators, which have proven themselves when applied with a particle size not exceeding 10 μm in the aspect of significantly increasing the combustion rate. The cavitation treatment effect is promising in terms of micron-sized WOE. According to experimental studies, in small emulsion particles water is boiled off to form finer elements by crushing the particles. Much less intermediate products are produced during combustion. Analysis of technology reveals one of the disadvantages – energy intensity of shredding process in preparation of watered oil [9].

Fuel oil containing solid components has an increased flash point, and also has other deviations from the standards, affects the contamination of the heating surface, destabilizes the combustion process, breaks the completeness of fuel combustion, forms the flare disruption up to the emergency shutdown of equipment. Traditional methods of storage and pumping imply that the consumer receives fuel oil with excessive moisture content [10].

The issue of making equipment to prepare WOE for combustion has been addressed for decades and much experience has been accumulated in this area. Mechanical apparatuses produce homogeneous solutions. Colloidal mills and rotors based on centrifugal pumps are also used. Ultrasonic machines are used for particle size reduction by breaking the bond between the particles of molecules [11–13].

The main distinguishing feature of all of the above devices is the complexity of their design, resulting in the need for additional service and in some cases connection to a permanent power supply.

Disadvantages of above mentioned WOE dispersants are eliminated by use of the WOE wave dispersant, described in detail below. The principle of operation of the wave treatment dispersant is also based on the cavitation effect.

Materials and methods

The process of combustion of C to CO and subsequently of CO to CO₂ is characteristic of WOE due to its high water vapour content. The possibility of using oil tank effluents is due to emulsification of watered liquid hydrocarbons. Stable burning of WOE is observed at volumetric water content up to 50 % [14].

Fig. 3 shows dispersant parts, on Fig. 4. dispersant housing and segner wheel, Fig. 5. dispersant assembled. Dispersant design is a device for wave treatment of watered fuel oil, made at the plant in Kazakhstan.



Figure 3 – Details of the dispersant



Figure 4 – Dispersant housing and segner wheel



Figure 5 – Dispersant assembly

The water-oil emulsion is homogenised by the cavitation process in the wave treatment dispersant, therefore the dispersant must be constructed according to a number of requirements:

- body and working bodies of the dispersant must be corrosion-resistant;
- cavitation resistance and wear resistance.

Stainless steels are well suited to these requirements. Table 1 shows the compositions for the dispersant body, steel grade 03X16H15M3 was selected and for the segner wheel, steel grade 12X13, whose chemical compositions are shown below.

Table 1 – Compositions of the selected steels

Steel grade	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Fe
03X16H15M3	Up to 0.03	Up to 0.6	Up to 0.8	14-16	Up to 0.015	Up to 0.02	15-17	2.5-3	~64
12X13	0.09-0.15	Up to 0.8	Up to 0.8	Up to 0.6	Up to 0.025	Up to 0.03	12-14		~84

The analysis revealed a number of changes in the dependence of physical and chemical properties of water-oil emulsion, which include aggregative and sedimentation stability, structural viscosity, and their dependence on temperature and water content. The obtained indicators are of great importance for organising efficient atomisation and stable fuel combustion, as well as for evaluating the performance of the dispersant itself.

Results and discussion

The experiment was conducted at 80 °C for M-100 fuel oil. The percentage of water content in WOE was taken in the range from 5 to 30 % (5, 10, 15, 20, 30).

WOE density. WOE is a composite mixture of two liquids of different densities, so the density is determined by the formula

$$\rho_{WOE} = \rho_O \cdot m_O + \rho_W \cdot m_W \quad (1)$$

ρ_{WOE} – density of WOE, kg/m³;

ρ_O, ρ_W – densities of fuel oil and water respectively; kg/m³;

m_O, m_W – proportion of fuel oil and water in the water-oil emulsion.

Determined the density of M-100 fuel oil and water at 70 °C.

At 70 °C = 935.5 kg/m³; = 971.6 kg/m³.

The experiment was carried out with different concentrations of water from 5 % to 30 %. The calculation results are shown in Table 2 and the diagram according to Fig. 6.

Table 2 – Dependence of WOE density on water concentration at 70 °C

Water concentration, %	5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
WOE density, kg/m ³	937,217	939,08	940,627	942,61	946,2

Fig. 6 shows that as the concentration of water in the mixture increases, the density of WOE increases. This is due to the fact that the density of water is higher than that of fuel oil.

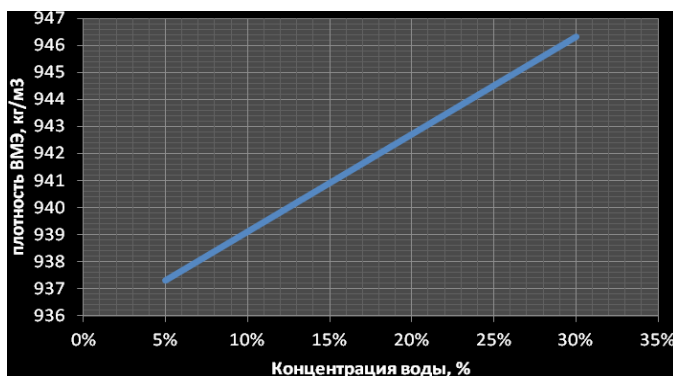


Figure 6 – Dependence of WOE density on water concentration at 70 °C

Hydrodynamics equation with viscosity η through the viscosimeter capillary to determine the stationary flow of a fluid (Poiseuille formula):

$$Q = \frac{\pi R^4 p}{8\eta L} \Rightarrow \eta = \frac{\pi R^4 p}{8QL} \quad (2)$$

Q – quantity of liquid flowing through the capillary viscometer per unit time, m^3/s ;

R – radius of the viscometer capillary, m ;

L – length of the capillary viscometer, m ;

p – pressure difference at the ends of the capillary viscometer, Pa ;

η – viscosity of liquid, $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

The case study justifies the use of the Poiseuille formula for laminar liquid flow when there is no slip on the viscometer capillary wall-liquid boundary. This equation is used to determine the dynamic viscosity.

Fig. 7 shows a schematic representation of a capillary viscometer for determining dynamic viscosity.

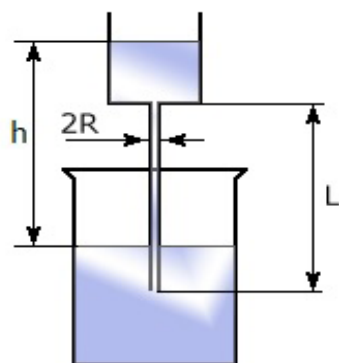


Figure 7 – Capillary viscometer

Table 3 – Viscosity of WOE in relation to water concentration at 70 °C

Концентрация воды, %	5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
Плотность ВМЭ, $\text{кг}/\text{м}^3$	937,217	939,08	940,627	942,61	946,2
Расход ВМЭ, $10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$	17,63	16,5	12,71	10,64	8,6
Структурная вязкость ВМЭ, $\text{Па}\cdot\text{с}$	0,182	0,191	0,253	0,304	0,368

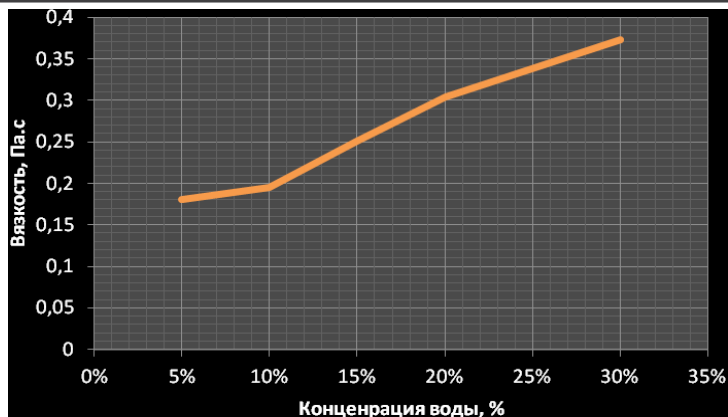


Figure 8 – Viscosities of WOE as a function of water concentration at 70 °C

The analysis of data of Fig. 8 and Table 3 shows the increase of structural viscosity of WOE with the increase of percentage of water content and shows the prevalence of viscosity of initial oil. The increase of emulsion viscosity from 0,167 Pa·s (initial oil) up to 0,373 Pa·s is observed.

The increase of percentage of water in WOE (above 30 %) causes negative consequences of combustion [15].

Calculation results using this method of determining the optimum value of transmission temperature and preparation of WOE, taking into account the percentage of water content, are shown in Table 4.

Table 4 – Temperature dependence of viscosity of M-100 fuel oil based WOE at different water contents

Emulsion	Structural viscosity, Pa·s at temperature, °C				
	20	40	50	70	80
WOE with 5 % H ₂ O	3,04	0,86	0,34	0,19	0,162
WOE with 10 % H ₂ O	12,3	1,54	0,76	0,255	0,159
WOE with 20 % H ₂ O	12,92	1,98	1,27	0,312	0,211
WOE with 30 % H ₂ O	16,74	3,73	1,91	0,377	0,278
WOE with 40 % H ₂ O	20,83	6,05	2,49	0,932	0,447

Analysis of the data indicates a significant decrease in viscosity of the cohesive disperse system in the temperature range from 20 to 70 °C. When water is heated in the range 70 to 80 °C the viscosity value does not decrease significantly. As an

example, the viscosity of WOE with 30% water content decreases from 0.376 Pa·s (at 70 °C) to 0.276 Pa·s (at 80 °C). The necessity of further increasing the temperature of heating WOE in the range of 90–100 °C is due to the prevention of boiling of water from WOE. The preparation of WOE is conditioned by the rationing of the water content. The factor of partial loss of moisture in the plant (not in the laboratory) during emulsion preparation can be considered as a positive side effect of dewatering.

A clarification assessment method was used to evaluate the sedimentation stability of the WOE, with an obligatory holding period in glass cylinders in a statistical condition. The results obtained are shown in Table 5.

Table 5 – Stability ratio of WOE based on M-100 fuel oil to settling time at 20 °C

Initial water content in WOE, % wt.	Concentration of water in WOE in the upper layer, % wt.				
	1 hour	2 hours	5 hours	8 hours	day
5	3,2	3,2	3,43	3,99	4,5
10	4,3	4,41	5,0	5,23	6
15	5,13	5,25	5,5	6,09	6,7
20	5,22	5,21	5,67	6,4	8
30	8,9	11	15,02	19	28,3

Conclusion

The wave dispersant experimentally demonstrates the high quality of the WOE preparation. The obtained WOE, with a water content in the range 5-30%, is stable overnight in the required temperature range. By means of dispersant of wave processing stable WOE are received, under standard conditions the prepared fuel is stored in the expense tank no more than days, therefore the WOE received by the presented technology is applicable for needs of power engineering in a wide range of application. WOE acts as a disperse system with high aggregative stability. There is a significant numerical increase in the 10 µm particle size and there is minimal conversion of the 1.25 µm dispersed phase particles towards the 2.5 µm particle size.

Information about financing

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

REFERENCES

1 Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Kartjanov, N. R. et al. Experimental test of Water-Oil Emulsion Combustion // High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020. E3S Web of Conferences 178. – 01012. – 2020.

2 **Baubek, A. A., Baubek, N.** Device for burning fuel European Patent no. 2864700. – 2016. [Electronic resource]. – <https://data.epo.org/gpi/EP2864700B1-DEVICE-FOR-BURNING-FUEL>.

3 **Баубек, А. А., Жумагулов, М. Г., Картджанов, Н. Р.** Экспериментальные исследования вредных выбросов при сжигании водо-мазутной эмульсии в инновационной вихревой горелке // IV Международная научно – практическая конференция на тему : «Актуальные проблемы транспорта и энергетики : пути их инновационного решения»; 17 марта 2016 г. – Астана, 2007. – С. 73–80.

4 **Hagos, F. Y., Ali, O. M., Mamat, R. et al.** Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – 75(5). – P. 1281–1294.

5 **Tan, Y.H., Abdullah, M. O., Nolasco-Hipolito, C. et al.** Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions // Energy Conversion and Management. – 2017. – 132(2): – P. 54–64.

6 **Kim, H., Baek, S. W.** Combustion of a single emulsion fuel droplet in a rapid compression machine // Energy. – 2016. – 106(3). – P. 422–430.

7 **Laitinen, O., Ojala, J., Sirviö, J.A., et al.** Sustainable stabilization of oil in water emulsions by cellulose nanocrystals synthesized from deep eutectic solvents // Cellulose. – 2017. – 24(4). – P. 1679–1689.

8 **Afanasenko, V. G., Kulakov, P. A., Boev, E. V., et al.** Optimization of ultrasound emulsion under mechanical mixing // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. – 2020. – 331(4). – P. 148–155.

9 **Таймаров, М. А., Ахметова, Р. В., Маргулис, С. М., Касимова, Л. И.** Влияние кавитационной обработки на выгорание частиц мазута в топках котлов. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – 20(9–10). – С. 52–59.

10 **Кормилицын, В. И., Лысков, М. Г., Румынский, А. А.** Влияние добавки влаги в топку на интенсивность лучистого теплообмена // Теплоэнергетика. – 1992. – № 1. – С. 41–44.

11 **Корягин, В. А.** Сжигание водотопливных эмульсий и снижение вредных выбросов. – СПб. : Недра, 1995. – 367 с.

12 **Шерман, Ф.** Эмульсии. Перевод с английского под ред. А. А. Абрамзона. – Л. : Химия, 1972. – 448 с.

13 **Промтов, М. А., Червяков, В. М., Воробьев, Ю. В.** Приготовление эмульсии в роторном аппарате // Научно-технич. информ. сб. статей. – М. : ВНИИСЭНТИ, 1991. – № 3. – С. 47–50.

14 **Геллер, С. В.** Приготовление водомазутных эмульсий посредством волновой диспергации. Патент РФ №2347153. 20.02.2009. – №4. – 16.

15 **Зверева, Э. Р., Фарахов, Т. М.** Энергоресурсосберегающие технологии и аппараты ТЭС при работе на мазутах. – М. : «Теплотехник», 2012. – 181 с.

REFERENCES

1 **Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Kartjanov, N. R. et al.** Experimental test of Water-Oil Emulsion Combustion // High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020. E3S Web of Conferences 178, 01012. – 2020.

2 **Baubek, A. A., Baubek, N.** Device for burning fuel, European Patent no. 2864700. – 2016. [Electronic resource]. – <https://data.epo.org/gpi/EP2864700B1-DEVICE-FOR-BURNING-FUEL>.

3 **Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Kartjanov, N. R.** Eksperimentalnye issledovaniya vrednyh vybrosov pri czhuganii vodo-mazutnoi emulsii v innovacionnoi vihvvoi gorelke. [Experimental studies of harmful emissions from the combustion of water-oil emulsion in an innovative vortex burner] IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya na temu: «Aktualnye problem transporta I energetiki : puti ih innovacionnogo resheniya» [IV International Scientific and Practical Conference on the topic : «Current problems of transport and energy : ways of their innovative solutions»]. – 17 March, 2016. – Astana, 2007. – P. 73–80.

4 **Hagos, F. Y., Ali, O .M., Mamat, R. et al.** Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – 75(5). – P. 1281–1294.

5 **Tan, Y. H., Abdullah, M. O., Nolasco-Hipolito, C. et al.** Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions // Energy Conversion and Management. – 2017. – 132(2). – P. 54–64.

6 **Kim, H., Baek, S. W.** Combustion of a single emulsion fuel droplet in a rapid compression machine // Energy. 2016. – 106(3). – P. 422–430.

7 **Laitinen, O., Ojala, J., Sirviö, J. A., et al.** Sustainable stabilization of oil in water emulsions by cellulose nanocrystals synthesized from deep eutectic solvents // Cellulose. – 2017. – 24(4). – P. 1679–1689.

8 **Afanasenko, V. G., Kulakov, P. A., Boev, E. V., et al.** Optimization of ultrasound emulsion under mechanical mixing // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. – 2020. – 331(4). – P. 148–155.

9 **Taymarov, M. A., Akhmetova, R. V., Margulis, S. M., Kasimova, L. I.** Vliyanie kavitacionnoj obrabotki na vygoranie chastic mazuta v topkakh kotlov. [The effect of cavitation treatment on the extinguishing of particles of oils in

fuel boilers] // Power engineering : research, equipment, technology. – 2018. – 20(9–10). – P. 52–59.

10 **Kormilicyn, V. I., Lyskov, M. G., Rumynskiy, A. A.** Vliyanie dobavki vlagi v topku na intensivnost luchistogo teploobmena. Teploenergetika [The effect of the addition of moisture to the furnace on the intensity of radiant heat exchange // Thermal power engineering]. – 1992. – (1). – P. 41–44.

11 **Koryagin, V. A.** Szhiganie vodotoplivnyh emulsii i snizhenie vrednyh vybrosov. [Burning of water-fuel emulsions and reduction of harmful emissions] Saint Petersburg : Nedra, 1995. – 367 p.

12 **Sherman, F.** Emul'sii. Perevod s angliyskogo god red. A.A. Abramzona [Emulsions. Translated from English under the editorship of A. A. Abramzon]. – L. : Chemistry. – 448 p.

13 **Promtov, M. A., Chervyakov, V. M., Vorobyev, V. M.** Prigotovlenie emulsii v rotnom apparate. Nauchno-tehnicheskii informacionnyi sbornik statei [Preparation of an emulsion in a rotary apparatus // Scientific and technical. inform. collection of articles]. – Moscow : VNIISNTI, 1991. – (3). – P. 47–50.

14 **Geller, S. V.** Prigotovlenie vodomazutnyh emulsii posredstvom volnovoi dispergacii. Patent RUS №2347153. 20.02.2009. – № 4. 16. [Preparation of water-oil emulsions by wave dispersion. Patent of the Russian Federation №2347153. 20.02.2009. – №4. 16.]

15 **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]. – Moscow : «Teploteknik», 2012. – 181 p.

Material received on 28.02.22.

*М. В. Долгов¹, А. А. Баубек², М. Г. Жумагулов³, А. М. Грибков⁴, С. А. Глазырин⁵

^{1,2,3,5}Гумилёв атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

⁴Казань ұлттық энергетикалық университеті,

Ресей Федерациясы, Қазан қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

СУ-МАЗУТТЫ ЭМУЛЬСИЯНЫ ЖАҒУ МҮМКІНДІГІ МӘСЕЛЕСІНЕ

Мақалада авторлар әзірлеген су-мазут эмульсиясын жағуға дайындау үшін суланған мазутты толқындық өңдеуге арналған құрылғы сипатталған. Көмірсутекті отынды жағудың жоғары

тиімділігі жанғыш қоспаны дайындау әдісін таңдаудағы негізгі көрсеткіштердің бірі болып табылады. Су-мұнай эмульсиясын жағуға арналған инновациялық құйынды қыздырғыш құрылғының схемасы ұсынылған. Жоғары сапалы эмульсияны дайындауға арналған қолданыстағы жабдыққа шолу жасалды. Жанарғы құрылғыларында сапалы жағу үшін мазутты мәжбүрлі дегидратациялау қажеттілігі жоққа шығарылды. Коррозияға төзімділікке, сондай-ақ кавитация мен тозуға төзімділікке қойылатын талаптарды ескере отырып, диспергатор корпусын жасау үшін материалды таңдау туралы мәліметтер ұсынылған. Су-мазут эмульсиясының физика-химиялық қасиеттерін (тұндыру және агрегаттық тұрақтылық, құрылымдық тұтқырлық) температурадан және олардағы су көлемінен түрлендірудің арақатынасын анықтау мақсатында талдау жүргізілді. Осы физика-химиялық параметрлерді білу зерттеуінің отынның жануы мен тұрақты жануының нәтижелілігін қамтамасыз ету үшін айтарлықтай. Эмульсияланған отынды дайындау температурасының өзгеруінің әртүрлі диапазондарында алынған нәтижелері бар капиллярлық вискозиметрді қолдана отырып, динамикалық тұтқырлықты анықтау әдістемесі келтірілген. 70 °C температурада судың концентрациясына байланысты су-мазут эмульсиясының тығыздығы бойынша деректер алынды, 20 °C кезінде тұндыру уақытына М-100 мазут негізіндегі эмульсия тұрақтылығының тәуелділігіне талдау жасалды.

Кілтті сөздер: мазут, су-мазут эмульсиясы, диспергатор, капиллярлық вискозиметр.

*М. В. Долгов¹, А. А. Баубек², М. Г. Жумагулов³, А. М. Грибков⁴, С. А. Глазырин⁵

^{1,2,3,5}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

⁴Казанский государственный энергетический университет, Российская Федерация, г. Казань.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

К ВОПРОСУ ВОЗМОЖНОСТИ СЖИГАНИЯ ВОДО-МАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ

В статье описан разработанный авторами аппарат для волновой обработки обводненного мазута для подготовки водо-мазутной эмульсии к сжиганию. Высокая эффективность сжигания

углеводородного топлива является одним из основных показателей при выборе способа подготовки горючей смеси. Представлена схема инновационного вихревого горелочного устройства для сжигания водомазутной эмульсии. Произведён обзор существующего оборудования для подготовки эмульсии высокого качества. Опровергнута необходимость в принудительной дегидратации мазута для качественного сжигания в горелочных устройствах. Представлены данные по выбору материала для изготовления корпуса диспергатора с учётом требований к коррозионностойкости, а также устойчивости к кавитации и износостойкости. Проведён анализ с целью выявления соотношений преобразования физико-химических свойств водомазутной эмульсии (седиментационная и агрегативная устойчивость, структурная вязкость) от температуры и от объёма в них воды. Знание данных физико-химических параметров значительно для обеспечения результативности распыла и стабильного горения исследуемого топлива. Приведена методология для определения динамической вязкости с использованием капиллярного вискозиметра с полученными результатами в разных диапазонах изменения температуры подготовки эмульгированного топлива. Получены данные по плотности водомазутной эмульсии в зависимости от концентрации воды при температуре 70 °С. Выполнен анализ зависимости стабильности эмульсии на основе мазута М-100 от времени отстоя при 20 °С. При использовании диспергатора волновой обработки получают стабильные водомазутные эмульсии, пригодные для применения их в энергетике в качестве топлива.

Ключевые слова: мазут, водомазутная эмульсия, диспергатор, капиллярный вискозиметр.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Азимбаев Жангир, магистранты, С. Сейфуллин атындағы Агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhangir1998a@gmail.com

Айсін Ж. А., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, janarys.aisin@gmail.com

Ақаев Айбек Мұратбекұлы, қауымд. профессор (доцент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Арипова Назгуль Михайловна, докторант, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazgul_2010@mail.ru

Аябаев Асыл Серікбайұлы, магистрант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Екібастұз қ., 141208, Қазақстан Республикасы, e-mail: ayabayev@bk.ru

Әмірбек Динара Әмірбекқызы, аға оқытушы, АЖДЭТМ, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: amirbek_dinara87@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Баубек Аскар Апошұлы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: baubek.as@mail.ru

Бурцев Петр Васильевич, магистрант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: petr.kz.98@mail.ru

Глазырин Сергей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: glansergey@yandex.ru

Говорун Владимир Федорович, техника ғылымдарының докторы. г., профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров атындағы университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: vladimir.govorun@gmail.com

Гоненко Татьяна Владимировна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Ақпараттық технологиялар және компьютерлік жүйелер факультеті,

Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644111, Ресей Федерациясы, e-mail: gonenko_t@mail.ru

Грибков Александр Михайлович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазан мемлекеттік энергетикалық университеті, Қазан қ., 420000, Ресей Федерациясы, gribkovaalmi@mail.ru

Динмуханбетова Айгуль Жумагельдиевна, аға оқытушы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ardi100909@mail.ru

Диханбаев Арыстан Баяндиевич, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Жылуэнергетика факультеті, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: arystan.d74@gmail.com

Диханбаев Баянды Ибрагимович, техника ғылымдарының докторы., қауымд. профессор, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: otrar_kz@mail.ru

Долгов Максим Викторович, докторант, «Жылу энергетикасы» мамандығы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, maxwellhousebest@yandex.ru

Достяров Абай Мұхамедиярұлы, техника ғылымдарының докторы, профессоры, Жылу энергетика және басқару жүйелері институты, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: dost51@mail.ru

Дробинский А. В., техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: avd1942@rambler.ru

Жантлесова Әсемгүл Бейсембайқызы, PhD, аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: acbizh@mail.ru

Жұмағұлов Михаил Григорьевич, техника ғылымдарының кандидаты, PhD, профессор м.а., Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, mikelike2000@yandex.kz

Исабеков Жанат Бейсембайұлы, PhD, доцент, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zh_is@mail.ru

Исабекова Бібігүл Бейсембайқызы, PhD, доцент, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru

Карманов Амангельды Ерболович, PhD, қауымд. профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aman270685@mail.ru

Картджанов Нурлан Режепбаевич, докторант, D098 «Жылуэнергетика» білім беру бағдарламасы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlanke16@gmail.com

Кириченко Л. Н., техника ғылымдарының магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: lalita17021996@gmail.com

Клецель Марк Яковлевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

Коломийцева Александра Вячеславовна, магистрант, «Техникалық физика» мамандығы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexandra.kolomiitseva@gmail.com

Кошумбаев Марат Булатович, техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: marat7759@mail.ru

Қадыржан Аружан Булатовна, магистрант, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kabdushevaa@gmail.com

Марковский Вадим Павлович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Энергетика» кафедрасының меңгерушісі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: wadim54@mail.ru

Машрапов Бауыржан Ерболұлы, қауымд. профессоры (доцент), «Электрэнергетика» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Мерғалимова Алмагуль Каирбергеновна, PhD, аға оқытушысы, «Жылуэнергетика» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru

Мирзакулова Ш. А., PhD, Тұран университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mirzakulova@mail.ru

Мұсаев Жасұлан Бақытжанұлы, оқытушы (ассистент), «Электрэнергетика» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров

университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhaslan.mail.ru@mail.ru

Новожилов Александр Николаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Новожилов Тимофей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Энергетикалық институт, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644011, Ресей Федерациясы, e-mail: timokvey@mail.ru

Нуркина Шолпан Муратовна, магистр, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sholpan_shupeeva@mail.ru

Нурсеитов Бакытжан Адилович, магистрант, «Электр энергетикасы» мамандығы, Инженерлік-технологиялық институты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда қ., 120000, Қазақстан Республикасы, e-mail: barakat_86@mail.ru

Онгар Булбул, PhD, қауымд. профессор, аға оқытушы, Логистика және көлік академиясы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ongar_bulbul@mail.ru

Приходько Евгений Валентинович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: john1380@mail.ru

Садыкова Айгерім Қанатқызы, магистрант, «Электрэнергетика» мамандығы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: shakenova@list.ru

Садықова Самал Бекболатқызы, аға оқытушы, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: kundyzdy@mail.ru

Сериков Т. Г., PhD, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, tansaule_s@mail.ru

Талипов Олжас Манарбекұлы, кафедра меңгерушісі, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: talipov1980@mail.ru

Танырбергенов Нариман Муратбекович, докторант, Д. Серикбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tanir_n@mail.ru

Төлебай Нұржол, магистрант, С. Сейфуллин атындағы Агротехникалық университет, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tulebai99@gmail.com

Уразалимова Д. С., техника ғылымдарының магистрі, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы e-mail: dariya_u@mail.ru

Хамзина Б. Е., педагогика ғылымдарының докторы, доцент, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: be_khamzina@mail.ru

Хацевский Владимир Филатович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: xvf5@mail.ru

Шапкенов Бауыржан Қайдарұлы, ф.ғ.к. техника. г., профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров атындағы университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: argin_intel@mail.ru

Ыбрай Сұлтан Барлымайбаұлы, докторант, Инженерлік мектеп, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sultan_energy@mail.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Азимбаев Жангир, магистрант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhangir1998a@gmail.com

Айсин Ж. А., Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур–Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: janarys.aisin@gmail.com

Акаев Айбек Муратбекович, ассоц. профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Арипова Назгуль Михайловна, докторант, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: nazgul_2010@mail.ru

Аябаев Асыл Серикбаевич, магистрант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Экибастуз, 141208, Республика Казахстан, e-mail: ayabayev@bk.ru

Әмірбек Динара Әмірбекқызы, ст. преподаватель, ШТАиТЭ, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 140008, Республика Казахстан, e-mail: amirbek_dinara87@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Баубек Аскар Апошевич, кандидат технических наук, доцент, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: baubek.as@mail.ru

Бурцев Петр Васильевич, магистрант, Торайғыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: petr.kz.98@mail.ru

Глазырин Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Говорун Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: vladimir.govorun@gmail.com

Гоненко Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Факультет информационных технологий и компьютерных систем, Омский

государственный технический университет, г. Омск, 644011, Российская Федерация, e-mail: gonenko_t@mail.ru

Грибков Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, 420000, Российская Федерация, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Динмуханбетова Айгуль Жумагельдыевна, ст. преподаватель, Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ardi100909@mail.ru

Диханбаев Арыстан Баяндиевич, м.т.н., ст. преподаватель, Теплоэнергетический факультет, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: arystan.d74@gmail.com

Диханбаев Баянды Ибрагимович, доктор технических наук, ассоц. профессор, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: otrar_kz@mail.ru

Долгов Максим Викторович, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Достяров Абай Мухамедиярулы, доктор технических наук, профессор, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Институт теплоэнергетики и систем управления, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: dost51@mail.ru

Дробинский А. В., кандидат технических наук, профессор, Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан 140000, e-mail: avd1942@rambler.ru

Жантлесова Асемгуль Бейсембаевна, PhD, ст. преподаватель, Казахский государственный университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: acbizh@mail.ru

Жумагулов Михаил Григорьевич, кандидат технических наук, доктор PhD, и.о. профессора, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Исабеков Жанат Бейсембаевич, PhD, доцент, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zh_is@mail.ru

Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, PhD, доцент, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru

Кадыржан Аружан Булатовна, магистрант, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: kabdushevaa@gmail.com

Карманов Амангельды Ерболович, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aman270685@mail.ru

Картджанов Нурлан Режепбаевич, докторант, образовательная программа D098 «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: nurlanke16@gmail.com

Кириченко Л. Н., магистр технических наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: lalita17021996@gmail.com

Клецель Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

Коломийцева Александра Вячеславовна, магистрант, специальность «Техническая физика», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: alexandra.kolomitseva@gmail.com

Кошумбаев Марат Булатович, доктор технических наук, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: marat7759@mail.ru

Марковский Вадим Павлович, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: wadim54@mail.ru

Машрапов Бауыржан Ерболович, ассоц. профессор (доцент), кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна, магистр, ст. преподаватель, кафедра «Теплоэнергетика», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru

Мирзакулова Ш. А., PhD, Университет Туран, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: mirzakulova@mail.ru

Мусаев Жасулан Бакытжанович, преподаватель (ассистент), кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zhaslan.mail.ru@mail.ru

Новожилов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, Энергетический факультет, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Новожилов Тимофей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Энергетический институт, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050, Российская Федерация, e-mail: timokvey@mail.ru

Нуркина Шолпан Муратовна, магистр, ст. преподаватель, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: sholpan_shupeeveva@mail.ru

Нурсеитов Бакытжан Адилович, магистрант, специальность «Электроэнергетика», Инженерно-технологический институт, Кызылординский государственный университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, 120000, Республика Казахстан, e-mail: barakat_86@mail.ru

Онгар Булбул, PhD, ассоц. профессор, ст. преподаватель, Академия логистики и транспорта, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: ongar_bulbul@mail.ru

Приходько Евгений Валентинович, кандидат технических наук, профессор, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: john1380@mail.ru

Садыкова Айгерим Канатовна, магистрант, специальность «Электроэнергетика», Энергетический факультет, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: shakenova@list.ru

Садыкова Самал Бекболатовна, ст. преподаватель, кафедра «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: kundyzydy@mail.ru

Серигов Т. Г., Доктор PhD, ассоц. профессор, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: tansaul_s@mail.ru

Талипов Олжас Манарбекович, заведующий кафедрой «Электротехника и автоматизация», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: talipov1980@mail.ru

Танырбергенов Нариман Муратбекович, докторант, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: tanir_n@mail.ru

Толебай Нуржол, магистрант, Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: tulebai99@gmail.com

Уразалимова Д. С., магистр технических наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, Казахстан 140008, Республика Казахстан, e-mail: dariya_u@mail.ru

Хамзина Б. Е., доктор педагогических наук, доцент, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: be_khamzina@mail.ru

Хацевский Владимир Филатович, доктор технических наук, профессор, Энергетический факультет, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: xvf5@mail.ru

Шапкенов Бауыржан Кайдарович, кандидат. технических наук, профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: argin_intel@mail.ru

Ыбрай Султан Барлымбаулы, докторант, Школа инженерий, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: sultan_energy@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aisin Zh. A., K. S. Seifullin azakh AgroTechnical University, Nur – Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: janarys.aisin@gmail.com

Akaev Aibek Muratbekovich, associate professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru

Amirbek Dinara Amirbekkyzy, senior lecturer, D. Serikbayev East-Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: amirbek_dinara87@mail.ru

Aripova Nazgul Mikhailovna, doctoral student, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazgul_2010@mail.ru

Ayabayev Asyl Serikbayevich, undergraduate student, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Ekibastuz, 141208, Republic of Kazakhstan, e-mail: ayabayev@bk.ru

Azimbayev Zhangir, undergraduate student, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhangir1998a@gmail.com

Barukin Aleksandr Sergeevich, PhD, associate professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Baubek Askar Aposhevich, Candidate Technical Sciences, Associate professor, Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: baubek.as@mail.ru

Burtsev Petr Vasilievich, undergraduate student, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140006, Republic of Kazakhstan, e-mail: petr.kz.98@mail.ru

Dikhanbaev Arystan Bayandievich, M.E.T., senior lecturer, Thermal Power Engineering Faculty, Gumarbek Daukeev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: arystan.d74@gmail.com

Dikhanbaev Bayandy Ibragimovich, d.e., associate professor, Faculty of Energy, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: otrar_kz@mail.ru

Dinmukhanbetova Aigul Zhumageldyevna, senior lecturer, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ardi100909@mail.ru

Dolgov Maxim Viktorovich, doctoral student in Heat Power Engineering, Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Dostiayarov Abai M., Doctor of Technical Sciences, professor, Gumarbek Daukeev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Institute of Thermal Power Engineering and Control Systems, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: dost51@mail.ru

Drobinskiy A. V., associate professor, NJSC Toraighyrov University", Pavlodar, Republic of Kazakhstan, 140000, e-mail: avd1942@rambler.ru

Glazyrin Sergey Aleksandrovich, Candidate Technical Sciences, associate professor, Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Gonenko Tatyana Vladimirovna, PhD of Technical Science, docent, Faculty of Information Technology and Computer Systems, Omsk State Technical University, Omsk, 644011, Russian Federation, e-mail: gonenko_t@mail.ru

Govorun Vladimir Fedorovich, Doctor of Technical Science, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: vladimir.govorun@gmail.com

Gribkov Alexander Michailovich, Candidate Technical Sciences, associate professor, Kazan State Energy University, Kazan, 420000, Russian Federation, e-mail: gribkovaalmi@mail.ru

Issabekov Zhanat, PhD, associate professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh_is@mail.ru

Issabekova Bibigul, PhD, associate professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru

Kadyrzhan Aruzhan Bulatovna, undergraduate student, Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kabdushevaa@gmail.com

Karmanov Amangeldy Erbolovich, PhD, associate professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aman270685@mail.ru

Kartjanov Nurlan R., doctoral student in D098 «Thermal Power Engineering», Transport and Energy Faculty, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlanke16@gmail.com

Khamzina B. E., Doctor of Pedagogical Sciences, docent, S. Seifullin Kazakh Agrarian University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: be_khamzina@mail.ru

Khatsevskiy Vladimir Filatovich, Doctor of Technical Sciences, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: xvf5@mail.ru

Kirichenko L.N., Master of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: lalita17021996@gmail.com

Kletsel Mark Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

Kolomiitseva Alexandra Vyacheslavovna, undergraduate student, «Technical physics», Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexandra.kolomiitseva@gmail.com

Koshumbaev Marat Bulatovich, senior lecturer, Faculty of Energy, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: marat7759@mail.ru

Markovsky Vadim Pavlovich, PhD Technical Science, professor, Head of the Department of Power Engineering, Faculty of Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: wadim54@mail.ru

Mashrapov Bauyrzhan Yerbolovich, associate professor, Department of Electric Power Engineering, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Mergalimova Almagul Kairbergenovna, Master of Technical Science, senior teacher, Department of «Thermal Power Engineering», S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru

Mirzakulova Sh. A., PhD, University Turan, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mirzakulova@mail.ru

Musaev Zhasulan Bakytzhanovich, lecturer (assistant), Department of Electric Power Engineering, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhaslan.mail.ru@mail.ru

Novozhilov Aleksandr Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Faculty of Energy Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Novozhilov Timofey Aleksandrovich, PhD, associate professor, Energy Institute, Omsk State Technical University, Omsk, 644011, Russian Federation, e-mail: timokvey@mail.ru

Nurkina Sholpan Muratovna, Master, senior lecturer, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: sholpan_shupeeve@mail.ru

Nurseitov Bahytzhan Adilovich, undergraduate student in «Electric Power Engineering», Korkyt Ata University, Institute of Engineering and Technology, Kyzylorda, 120000, Republic of Kazakhstan, e-mail: barakat_86@mail.ru

Ongar Bulbul, Doctor of PhD, associate professor, senior lecturer, Academy of Logistics and Transport, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ongar_bulbul@mail.ru

Prikhodko Evgeniy Valentinovich, Candidate of Technical Sciences, professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: john1380@mail.ru

Sadykova Aigerim Kanatovna, undergraduate student in «Electric Power Engineering», Faculty of Energy Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: shakenova@list.ru

Sadykova Samal B., senior lecturer, Transport and Energy Faculty, Department «Heat power», L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kundyzdy@mail.ru

Serikov T. G., PhD, associate professor, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Shapkenov Bauyrzhan Kaidarovich, PhD Technical Science, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: argin_intel@mail.ru

Talipov Olzhas Manarbekovich, Head of the Department of «Electrical Engineering and Automation», Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: talipov1980@mail.ru

Tanyrbergenov Nariman Muratbekovich, doctoral student, D. Serikbaev East-Kazakhstan Technical University, Ust Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tanir_n@mail.ru

Tolebay Nurzhol, undergraduate student, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tulebai99@gmail.com

Urazalimova D.S., Master of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, 140000, e-mail: dariya_u@mail.ru

Ybray Sultan Barlymbayuly, doctoral student, School of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sultan_energy@mail.ru

Zhantlessova Asemgul, PhD, senior lecturer, S. Seifullina Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: acbizh@mail.ru

Zhumagulov Mikhail Grigorievich, PhD, Candidate Technical Sciences, acting professor, Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
(«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

***В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

*** Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 1 раз.**

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со
следующими правилами:**

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц** печатного текста. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) *Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество (полностью)** автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*), **главного автора пометить символом (*)**;

4 **Ученая степень, ученое звание**;

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail**;

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются*

на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

10 Основной текст статьи излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Kіріспе / Introduction** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет

ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом:

автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков и подрисуночные надписи к ним** представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail** (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Информация для авторов

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайгыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или 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 «Торайгыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование – Оплата за ВУЗы – Заполнение все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jysan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSBKZK 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 университети, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniu i vospitaniu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p. c.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – 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

Торайгыров 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 құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeyeva

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайгыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайгыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегии статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 28.02.2022 ж. жіберілді. Басуға 18.03.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,77 Mb RAM

Шартты баспа табағы 13,12. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3883

Сдано в набор 28.02.2022 г. Подписано в печать 18.03.2022 г.

Электронное издание

3,77 Mb RAM

Усл. печ. л. 13,12. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3883

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz