

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

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

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Никитин К. И.,

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Алиферов А. И.,

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Кошеков К. Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е. В.,

к.т.н., профессор

Кислов А. П.,

к.т.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Омарова А. Р.

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

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

© Торайгыров университет

МАЗМУНЫ
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT

Айтмагамбетова Г. А., Никифоров А. С.

Некоторые аспекты оптимизационной задачи энергоэффективной работы комплекса по прокालке кокса.....

Akishev K., Nurtay J.

Automation of labor protection system management at an industrial enterprise.....

Atyaksheva A., Mergalimova A., Ybray S., Dashevskaya A., Ryvkina N.

Simulation heating process for weakly reactive coal in the horizontal reactor

Галкин С. В., Сегеда Т. А., Елистратов С. Л.,

Акаев А. М.

Анализ нормативного расчета тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей в аспекте повышения энергоэффективности.....

Есмаханова Л. Н., Мыркалыков Б. С., Балгабаева С.,

Абенова А. Т., Сагындық Ә. Б.

Моделирование процесса горения с помощью нечетких нейронных сетей

Жумадирова А. К.

Математическая модель устройства контроля состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю

Исабеков Ж. Б., Талипов О. М., Хусаинова А. Б.,

Тюлюгенова Л. Б., Жантлесова А. Б.

Защита силового кабеля соледобывающей плавучей платформы от однофазного замыкания на землю.....

- Д. Д. Исабеков, Н. Ш. Жуматаев, Д. С. Нарынбаев**
Многофункциональный комплект релейной защиты
- Кайдагулов Д. К., Несмеянова Р. М., Масакбаева С. Р.**
Анализ и оптимизация устойчивости горения в печах
первичной перегонки нефти
с использованием ПИД-регуляторов
- Камарова С. Н., Исаев В. Л., Нешина Е. Г.**
Методика расчета для выявления условий обеспечения
скрубберами экологической чистоты дымовых газов
- Карымсакова И.Б., Бекенова Б. Д., Оспанов Е. А.,
Кожамметова Д.О, Туменов А. С.**
Онкологиялық ауруларды емдеуде талдау және
ұсыныстар беру бойынша нейрондық желі құру
ерекшеліктері.....
- Кириченко Л. Н., Жалмагамбетова У. К., Крыкбаева
М.С., Командиров Е. В.**
Шимпф А .А.
Методы определения эмиссий от основных стационарных
источников загрязнений.....
- Косымбаев Р. Б., Булатбаева Ю. Ф., Булатбаев Ф.Н.**
Анализ энергопотребления при непрерывным и
дискретным регулированием
- подачи на насосной станции первого подъема
- Кошекков К. Т., Тановицкий Ю. Н., Кошекков А. К.,
Курбанов Я. М., Тогамбаев Р. К.**
Программирование обучающих тренажеров разборки и
сборки твердых тел с применением 3D VR.....
- Кошумбаев М. Б., Исенов С. С., Ауельбек М. А.,
Нурмаганбетова Г. С., Утаева Д. М.**
Перспективы и основные направления развития
энергетики в мире и в Республике Казахстан

**Мухаммадиев Б. Е., Умурзакова А. Д., Мади П. Ш.,
Сарманова А. М.**

Исабекова Б. Б.

Обзор методов диагностики технического состояния
асинхронного двигателя

**Нефтисов А. В., Казамбаев И. М., Уразаев Д. Б.,
Жакупова К.М., Сагадатов Н.Ж.**

Концептуальный прототип микропроцессорной релейной
защиты с применением открытыми стандартами
интернета вещей

**Новожилов А. Н., Имангазинова Д. К., Новожилов Т. А.
Исенов Ж. С.**

Способ выявления секции со «скрытым» повреждением в
трехфазных

обмотках электрических машин

**Өмірзақ С. Б., Зиябек М. О., Арыстанбаев К. Е.,
Шмирова Ж. К.**

Кәдімгі сарысоюя (*Xanthium strumarium* L.) шөбінен экстракт
алу процесін автоматтандыру

**Сейтенова Г., Дюсова Р., Нурахметова Ж.,
Коспармакова С., Джексембаева А.**

Энергосберегающие технологии производства полимер-
модифицированного битума

**Смайлов Н. К., Кошкинбаев С. Ж., Таштай Е.,
Жекамбаева М. Н., Әмір А. Ә.**

Анализ возможностей использования волоконно-
оптических датчиков для диагностики состояния
металлических и бетонных конструкций

**Tazhakhmetov B. T., Balgabekov T. K. Zharassov Sh. Zh.,
Aldungarova A. K., Menendez I. P.**

Linear programming for allocating transportation capacities in
freight planning

Taran N.Yu., Kaverin V.V., Sarsikejev E.Zh., Titkov V. V.

System of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of underground metal elements of overhead power line supports

Фандюшин В. И., Пудич Н. Н., Улихина Ю. В.

Адаптивный регулятор мощности для дуговых сталеплавильных печей

Авторлар туралы ақпарат

Сведения об авторах

Information about the authors 326

Авторларға арналған ережелер

Правила для авторов

Rules for authors..... 354

Жарияланым этикасы

Публикационная этика

Publication ethics 368

МРНТИ 44.31.35

*** Г. А. Айтмагамбетова¹, А. С. Никифоров²**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г.

Павлодар

**e-mail: gul_2904@mail.ru*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7934-9990>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ПО ПРОКАЛКЕ КОКСА

Данная статья представляет исследование, посвященное вопросам оптимизации энергоэффективности комплекса по прокатке кокса. Авторы осуществляют анализ процесса с использованием метода графов, который является мощным инструментом для изучения технологических схем. Они демонстрируют процесс построения ориентированного графа, а также составления структурной матрицы и матрицы смежности контуров схемы. Это позволяет подробно описать структуру графа и предоставить математическую основу для оптимизации процесса моделирования. Дополнительно, для каждого элемента схемы разрабатываются балансовые уравнения

энергетических потоков, анализируются перепады давлений и энтальпий. Такой подход способствует более эффективному управлению энергопотоками и оптимизации работы комплекса, что важно для повышения его производительности и снижения затрат. Дополнительно к анализу энергоэффективности и оптимизации процесса прокалики кокса, статья также обсуждает значимость этих методов для современной промышленности. Представленный подход к моделированию и оптимизации процессов является ключевым для улучшения конкурентоспособности предприятий и снижения их экологического воздействия. Такой комплексный подход не только способствует повышению эффективности производства, но и позволяет сократить затраты и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Таким образом, статья представляет не только теоретический анализ, но и практические рекомендации для улучшения энергоэффективности промышленных процессов.

Ключевые слова: оптимизация, энергоэффективность, прокалка кокса, метод графа, матрица

Введение

Промышленные предприятия, занимающиеся прокалкой кокса, сталкиваются с постоянной потребностью в оптимизации процессов, направленных на повышение энергоэффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду. В данном исследовании внимание уделено некоторым ключевым

аспектам оптимизационной задачи энергоэффективной работы комплекса по прокалке кокса и рассматриваются методы и подходы к их решению [1, с.12].

Сжигание кокса является основным источником энергии для процесса прокалки кокса. Эффективное управление этим процессом позволяет сократить расход топлива и минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Достижение оптимального состава газовой среды и контроль скорости сжигания кокса играют решающую роль в эффективности этого процесса [2, с.36].

Однако, достижение оптимальных результатов в процессе прокалки кокса требует комплексного подхода и внимательного изучения различных факторов, влияющих на энергетическую эффективность. На протяжении десятилетий инженеры и ученые активно работают над разработкой новых технологий и методов, направленных на улучшение процессов прокалки кокса и снижение потребления энергии.

Одним из ключевых аспектов оптимизации является внедрение современных систем мониторинга и управления, которые позволяют непрерывно контролировать параметры процесса и оперативно реагировать на изменения. Это включает в себя использование автоматизированных систем управления, а также разработку алгоритмов оптимального управления, основанных на математических моделях процесса.

Размещение датчиков температуры в различных зонах печи позволяет непрерывно отслеживать и контролировать температурный режим внутри печи.

Контроль теплового режима в печах прокалки является ключевым фактором для обеспечения равномерности прокалки кокса и минимизации энергозатрат. Оптимизация распределения тепла внутри печей позволяет снизить потери тепла и повысить эффективность процесса [3, с.46].

Применение математических моделей для анализа и оптимизации процессов прокалики кокса позволяет предсказать поведение системы при различных условиях и определить оптимальные параметры работы комплекса [4, с.536]. Это позволяет сократить время настройки оборудования и повысить его эффективность.

В целом, оптимизация энергоэффективной работы комплекса по прокалике кокса является ключевым фактором для повышения его конкурентоспособности и сокращения негативного воздействия на окружающую среду. Эффективное управление процессами прокалики кокса и внедрение новых технологий - основные направления работы для достижения этих целей.

Материалы и методы

Процесс обработки нефтяного кокса перед его использованием в промышленности для производства различных видов электродной продукции, такой как аноды и графит, называется прокаливанием.

В последнее время спрос на этот тип кокса постоянно растет, но внутренние производственные мощности не могут полностью удовлетворить его. Особенно остро нехватка кокса ощущается в алюминиевой промышленности, где потребность достигает около 500 тысяч тонн в год. Этот недостаток может еще усилиться с увеличением производства алюминия и электродов в будущем. Ситуация с поставками кокса становится все сложнее из-за сокращения его доступности на мировом рынке, что приводит к необходимости оптимизации процессов прокаливания для удовлетворения растущего спроса отечественной промышленности. Важные детали о технологической схеме и распределении материальных потоков в процессе производства прокаленного кокса представлены на рисунке 1 [5, с.5].

Главная цель прокалики заключается в улучшении физических и химических характеристик кокса, включая электрическое сопротивление, плотность, окисляемость и реакционную способность [6, с.32]. Это позволяет достичь необходимых свойств конечного продукта.

Процесс прокалики кокса представляет собой технологическую операцию, в ходе которой сырой нефтяной кокс подвергается нагреванию в специальной барабанной печи. Эта печь имеет конструктивные характеристики, такие как размеры 65 м в длину и 3,47 м в диаметре, а также установлена под углом 4° к горизонту. Печь способна вращаться со скоростью до двух оборотов в минуту.

Процесс начинается с загрузки сырого нефтяного кокса в печь. Подача топлива для горения и воздуха осуществляется с противоположных сторон, что позволяет обеспечить эффективный теплообмен. Воздух, необходимый для полного сгорания, подается в печь с помощью вентиляторов.

В процессе сжигания, кокс полностью освобождается от влаги и летучих веществ, и его подвергают нагреванию до 1350°C .

Основным топливом в печах является мазут, но для розжига и увеличения температуры свыше 350°C используют дизельное топливо.

В холодильнике, предназначенном для охлаждения прокаленного кокса до температуры 100°C , используют способ прямого орошения водой. При охлаждении кокса вода испаряется, образовавшийся пар улавливают и направляют в печь дожига, предварительно проведя очистку в циклонном пылеуловителе от мелких частиц прокаленного кокса, которые вследствие поступают на ленточный конвейер как готовая продукция. Охлажденный кокс направляется на хранение.

Весь процесс занимает не менее 45 минут и осуществляется под контролем для обеспечения качественного прокаленного продукта.

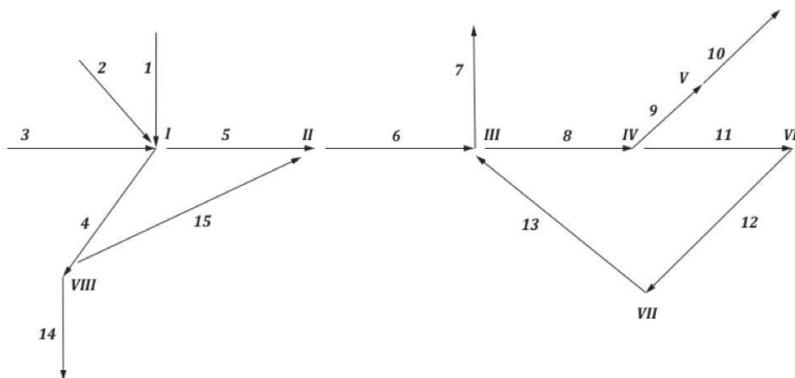
Тепло, которое выделяется в процессе прокаливания нефтяного кокса используется для получения пара в котлах-утилизаторах. Далее пар, как и в традиционных паротурбинных установках, используется при выработки электроэнергии для собственных нужд промышленного предприятия. Паропроизводительность одного котла-утилизатора составляет 35 т/час, общий расход пара на производство электроэнергии – 54-64 т/час.

Турбины, установленные в данной технологической схеме, конденсационные, мощностью по 3 МВт, суммарная мощность – 12 МВт. Избыток электрической энергии, не используемый на предприятии реализуется.

Для обеспечения котла-утилизатора питательной водой используется смесь конденсата отработавшего в турбине пара и обессоленной добавочной воды, которая дополнительно очищается от агрессивных газов в термическом деаэраторе. Деаэрация осуществляется при давлении 0,12 МПа и температуре 104 °С.

Для оптимизации энергоэффективности работы комплекса проковки кокса используется математический аппарат теории графов [7, с.202].

Для оптимизации производственного процесса проковки кокса часто используется ориентированный граф, который отражает технологическую схему комплекса. В соответствии с технологической схемой (рисунок 1), составляется ориентированный граф (рисунок 2).



*I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII - номера элементов;
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – номера связей.*

Рисунок 2 – Ориентированный граф технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса

На графе отображаются такие элементы, как загрузка сырья, нагревочные печи, системы охлаждения, управляющие устройства и прочие компоненты процесса. Каждый узел графа представляет собой определенный этап производства, а ребра указывают направление потока материалов или информации между этапами. Таким образом, ориентированный граф дает общее представление о том, как происходит производство прокаленного кокса. Каждый этап может быть детализирован с учетом конкретных технологических особенностей комплекса.

Ориентированный граф технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса является важным инструментом для анализа и оптимизации производственных процессов. Для создания структурной матрицы технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса, мы должны выделить

все связи между элементами системы и представить их в виде матрицы.

Структурная матрица состоит из строк и столбцов. Каждый столбец и каждая строка соответствуют элементу системы. Элементы матрицы представляют собой связи между этими элементами.

Таблица 1 – Структурная матрица

Номер связи (i)	Номер элемента (j)									Сумма признаков
	I	I	II	I	V	V	VI	VI	VI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1									1
2	1									1
3	1									1
4	-1							1		0
5	-1	1								0
6		-1	1							0
7			-1							-1
8			-1	1						0
9				-1	1					0
10					-1					-1
11					-1	1				0

12						-1	1		0
13			1				-1		0
14								-1	-1
15		1						-1	0
Сумма признак ов	5	3	4	2	3	2	2	3	

Структурная матрица имеет один дополнительный столбец, который отражает тип связи (внешняя или внутренняя). Для внешних связей используются значения «-1» - для исходящих и «+1» - для входящих (в зависимости от направления связи), а для внутренних связей - значения «1» и «-1» (с противоположными знаками, дающими в сумме ноль).

Следовательно, структурная матрица полностью описывает структуру графа технологической схемы комплекса по производству прокаленного кокса и позволяет переписать граф в математическом виде для дальнейшей оптимизации процесса моделирования [8, с.53].

Структурная матрица содержит элементы служебного столбца, которые представляют сумму признаков связи вдоль каждого столбца:

- I элемента соответствует 5 признаков;
- II элемента соответствует 3 признака;
- III элемента соответствует 4 признака;
- IV элемента соответствует 2 признака;
- V элемента соответствует 3 признака;
- VI элемента соответствует 2 признака;
- VII элемента соответствует 2 признака;
- VIII элемента соответствует 3 признака.

В дополнительном столбце таблицы, элемент i -го $(n+1)$ -го столбца матрицы представляет тип связи в системе (внешняя или внутренняя). Номер каждой связи

сопровождается указанием количества признаков: для 1-й связи 1 признак, для 2-й связи 1 признак, для 3-й связи 1 признак и так далее.

Для анализа рассматриваемой технологической схемы применяются дополнительные матрицы, включая матрицу смежности (таблица 2).

Таблица 2 Матрица смежности

Номера элементов (i)	Номера элементов (j)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I		1						1
II			1					
III				1				
IV					1	1		
V								
VI							1	
VII			1					
VIII		1						

Матрица смежности отражает соединения между различными компонентами. Это таблица, в которой строки и столбцы обозначаются номерами элементов в схеме. Если в ячейке (i, j) есть «1», это означает наличие связи от элемента i к элементу j.

Анализируя эту матрицу, можно определить количество контуров в схеме и компоненты, входящие в эти контуры. В технологической схеме обнаружено 9 связей между элементами.

Совокупность уравнений материального, энергетического балансов, уравнений изменения давления и энтальпий записывается для каждого элемента системы, образуя систему балансовых уравнений. Для удобства, эти уравнения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Система балансовых уравнений

№ элемента	Граф (обозначение) элемента	Балансовые уравнения	Номер уравнения
1	2	3	4
I	Печь прокали вания G_4, t_4, Q_H^p G_3, t_3, p_3 I G_5, t_5, p_5 G_2, t_2, Q_H^p G_1, t_1	$G_1 - G_4 = 0;$ $G_2 + G_3 - G_5 = 0;$ $G_1 h_1 - G_4 h_4 + G_2 h_2 + G_3 h_3 - G_5 h_5 = 0$ $h_1 + \Delta h_{1,4} - h_4 = 0;$ $h_2 + \Delta h_2 = 0;$ $h_3 + \Delta h_3 = 0;$ $h_5 - \Delta h_5 = 0;$ $p_1 + \Delta p_{1,4} - p_4 = 0;$ $p_2 - \Delta p_2 = 0;$ $p_3 - \Delta p_3 = 0;$ $p_5 + \Delta p_5 = 0;$ $h_1 = f(t_1, Q_H^p);$ $h_2 = f(t_2, p_2, Q_H^p);$	(1.1) 1

		$h_3 = f(t_3, p_3);$ $h_4 = f(t_4, Q_n^p);$ $h_5 = f(t_5, p_5, \text{состав}).$	
II	Печь дожига G_5, t_5, p_5 II G_6, t_6, p_6 G_{15}, t_{15}, p_{15}	$G_5 + G_{15} - G_6 = 0;$ $G_5 h_5 + G_{15} h_{15} - \gamma_2 G_6 h_6 = 0$ (1.2) $h_5 - \Delta h_5 = 0;$ $h_6 - \Delta h_6 = 0;$ $h_{15} - \Delta h_{15} = 0;$ $p_5 - \Delta p_5 = 0;$ $p_6 + \Delta p_6 = 0;$ $p_{15} - \Delta p_{15} = 0;$ $h_6 = f(t_6, p_6, \text{состав});$ $h_{15} = f(t_{15}, p_{15})$	

продолжение таблицы 3

1	2	3	4
---	---	---	---

III	Котел утилизатор G_8, t_8, p_8 G_7, t_7, p_7 G_6, t_6, p_6 G_{13}, t_{13}, p_{13}	$G_6 - \gamma_3 G_7 = 0;$ $G_{13} - G_8 = 0;$ $G_6 h_6 - \gamma_2 G_7 h_7 + G_{13} h_{13} - G_8 h_8 = 0$ $;$ $h_6 - \Delta h_6 = 0;$ $h_7 - \Delta h_7 = 0;$ $h_{13} - \Delta h_{13} = 0;$ $h_8 - \Delta h_8 = 0;$ $p_6 - \Delta p_6 = 0;$ $p_7 - \Delta p_7 = 0;$ $p_8 - \Delta p_8 = 0;$ $p_{13} - \Delta p_{13} = 0;$ $h_7 = f(t_7, p_7);$ $h_8 = f(t_8, p_8);$ $h_{13} = f(t_{13}, p_{13}).$	(1. 3)
-----	--	--	-----------

<p>IV</p>	<p>Турбина</p> <p>G_8, t_8, p_8</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>IV</p> <p>N_9</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>G_{11}, t_{11}, p_{11}</p>	<p style="text-align: right;">;</p> $G_8 - G_{11} - \frac{1}{\gamma_4} \cdot N_9 = 0$ <p style="text-align: right;">;</p> $G_8 h_8 - G_{11} h_{11} - \frac{1}{\gamma_4} \cdot N_9 = 0$ <p style="text-align: right;">;</p> $h_8 \Rightarrow \Delta h_{8.11} - h_{11} = 0;$ $p_8 - \Delta p_{8.11} - p_{11} = 0;$ $h_{11} = f(t_{11}, p_{11})$	<p>(1.4)</p>
<p>V</p>	<p>Электростанция</p> <p style="text-align: center;">V</p> <p>N_9</p> <p>N_{10}</p> <p style="text-align: center;">→</p>	$N_9 - \frac{1}{\gamma_5} \cdot N_{10} = 0$	<p>(1.5)</p>
<p>VI</p>	<p>Конденсатор</p> <p>G_{12}, t_{12}, p_{12}</p> <p>G_{11}, t_{11}, p_{11}</p> <p style="text-align: center;">←</p> <p style="text-align: center;">VI</p>	$G_{11} - \gamma_6 G_{12} = 0;$ $G_{11} h_{11} - \gamma_6 G_{12} h_{12} = 0;$ $h_{11} - \Delta h_{11} = 0;$ $h_{12} - \Delta h_{12} = 0;$ $p_{11} - \Delta p_{11} = 0;$ $p_{12} - \Delta p_{12} = 0;$ $h_{12} = f(t_{12}, p_{12}).$	<p>(1.6)</p>

VI I	Деаэрагор G_{12}, t_{12}, p_{12} G_{13}, t_{13}, p_{13} $\xrightarrow{\text{VII}}$	$G_{12} - \gamma_7 G_{13} = 0;$ $G_{12} h_{12} - \gamma_7 G_{13} h_{13} = 0;$ $h_{12} - \Delta h_{12} = 0;$ $h_{13} - \Delta h_{13} = 0;$ $p_{12} - \Delta p_{12} = 0;$ $p_{13} - \Delta p_{13} = 0.$	(1. 7)
VI II	Холодильни к G_{15}, t_{15}, p_{15} \uparrow G_{14}, t_{14} G_4, t_4, Q_n^p $\leftarrow \text{VIII}$	$G_4 - \gamma_8 G_{14} - G_{15} = 0;$ $G_4 h_4 - \gamma_8 G_{14} h_{14} - G_{15} h_{15} = 0;$ $h_4 - \Delta h_4 = 0;$ $h_{14} - \Delta h_{14} = 0;$ $h_{15} - \Delta h_{15} = 0;$ $p_4 - \Delta p_4 = 0;$ $p_{14} - \Delta p_{14} = 0;$ $p_{15} - \Delta p_{15} = 0;$ $h_{14} = f(t_{14}, Q_n^p).$	(1. 8)

Из таблицы 3 видно, что для всех элементов, составлены энергетические, материальные балансы потоков, перепады давления, изменения энтальпии

потоков в оборудовании технологической схемы комплекса прокалки кокса [9, с.498].

Уравнения балансов каждого элемента представлены в виде:

– равенство прихода и расхода энергий k -го элемента:

$$\sum_{J=1}^{N_k} (\psi Gh)_J + \sum_{n=1}^{P_k} (\psi G)_n = 0 \quad ; \quad (1.1)$$

– равенства расходов i -го энергетических потоков k -го элемента:

$$\sum_{J=1}^{N_{ki}} G_J = 0 \quad ; \quad (1.2)$$

– перепад давлений i -го энергетического потока k -го элемента:

$$(p' \pm \Delta p - p'')_{ki} = 0 \quad ; \quad (1.3)$$

– теплоперепад i -го энергетического потока k -го элемента:

$$(h' \pm \Delta h - h'')_{ki} = 0 \quad ; \quad (1.4)$$

где G – расход энергетического потока;
 E – мощность электрических или механических связей;
 p и h – давления и энтальпии энергетических потоков исходящей (//) или входящей (/) связи элемента;

Δp и Δh – перепады давлений и энтальпий энергетических потоков каждого из элементов;

γ – значение постоянного коэффициента для учета потерь энергий потоков энергоносителей в окружающую среду (потоков теплоты, механический или электрический КПД – для входящих связей, и в обратном направлении – для исходящих потоков);

N и P – значение мощностей, соответственно, для связи с множеством параметров и с одним параметром.

Составляя уравнения, потоки, входящие в элемент, обозначаются как положительные, а выходящие – как отрицательные. Для удобства определения коэффициентов, учитывающих потери энергии в окружающую среду, в уравнениях можно привести коэффициенты при всех потоках к одному значению, которое соответствует максимальной мощности, присущей данному элементу.

Результаты и обсуждение

Для оптимизации энергоэффективности работы комплекса по производству прокаленного кокса, применяется математический аппарат теории графов. Ориентированный граф, отображающий технологическую схему комплекса, является ключевым инструментом для анализа и оптимизации производственных процессов [10, с.85].

Составляя структурную матрицу технологической схемы, были выделены все связи между элементами системы и представлены в виде матрицы.

Для анализа рассматриваемой технологической схемы также были применены дополнительные матрицы, включая матрицу смежности. Матрица смежности позволяет определить количество контуров в схеме и компоненты, входящие в эти контуры. В технической схеме обнаружено 9 связей между элементами.

Для каждого элемента системы были составлены системы балансовых уравнений, включая энергетический

баланс, материальные балансы вещественных потоков, изменения давления и энтальпии.

Выводы

Таким образом, использование математического аппарата теории графов и системы балансовых уравнений является эффективным подходом к оптимизации производственного процесса прокалики кокса. Эти методы обеспечивают комплексное моделирование и анализ системы, что способствует повышению энергоэффективности и экономической эффективности производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Качан, Д. М.** Интенсификация процесса прокаливания нефтяного кокса в камерных печах [Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук]. – Санкт- Петербург, 2005. – 17 с.

2 Обзор рынка нефтяного кокса (сырого и прокаленного) в России, СНГ и мире. Язык отчета: Русский, 2023 г. – 188 с.

3 **Эльканци, Э. М.** Кинетический анализ процессов обжига кокса во вращающихся печах [Kinetic Analysis of the Coke Calcination Processes in Rotary Kilns], Методики, технологии и приложения моделирования и симуляции [Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications], 2014, – С. 45-54.

4 **Буй, Р. Т., Симард, Г., Шаретт, А., Кокаефе, Ю., Перрон, Дж.** Математическое моделирование вращающейся печи для обжига кокса [Mathematical modeling of the rotary coke calcining kiln First published], Канадский журнал химической инженерии [Canadian Journal of Chemical Engineering], Том 73, Выпуск 4, 1995 г., – С. 534-545

5 **Кочасфе, Я.** Математическое моделирование вращающейся печи обжига кокса [Mathematical modeling of a rotary coke kiln], Канадский журнал химической инженерии [Canadian Journal of Chemical Engineering], 1995.- 12 с.

6 **Седнин, В. А.** Моделирование, оптимизация и управление теплотехническими системами: учебно-методическое пособие для студентов специальности «Промышленная теплоэнергетика» – Минск: БНТУ, 2021. – 67 с.

7 **Попырин, Л. С.** Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок – М.: Энергия, 1978. – 342 с.

8 **Вульман, Ф. А., Корягин, А. В., Кривошей, М. З.** Математическое моделирование тепловых схем – М.: Машиностроение, 1985. – 112 с.

9 **Тарасюк, В. П.** Математическое моделирование технических систем – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 640 с.

10 **Березина, Л. Ю.** Графы и их применение: пособие для учителей – М.: Просвещение, 1979. – 143 с.

REFERENCES

1 **Kachan, D. M.** Intensifikaciya processa prokalivaniya neftyanogo koksa v kamerny`x pechax [Intensification of the process of calcination of petroleum coke in chamber furnaces], Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Saint Petersburg, 2005. – 17 p.

2 **Obzor ry`nka neftyanogo koksa (sy`rogo i prokalennogo) v Rossii, SNG i mire** [Review of the petroleum coke market (raw and calcined) in Russia, the CIS and the world], Yazy`k otcheta: Russkij [Report language: Russian], 2023. – 188 p.

3 **Elkanzi, E. M.**, Kinetic Analysis of the Coke Calcination Processes in Rotary Kilns, Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 2014, pp. 45-54

4 **Bui, R. T., Simard, G., Charette, A., Kocaefe, Y., Perron, J.** Mathematical modeling of the rotary coke calcining kiln First published: Volume 73, Issue 4, 1995, p. 534-545

5 **Kocaefe, Yasar** Mathematical modeling of the rotary coke calcining kiln, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1995. - 12 p.

6 **Sednin, V. A.** Modelirovanie, optimizaciya i upravlenie teplotexnicheskimi sistemami [Modeling, optimization and control of thermal systems], uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov special`nosti «Promy`shlennaya teploe`nergetika» [educational and methodological manual for students of the specialty «Industrial Heat and Power Engineering»] – Minsk: BNTU, 2021. – 67 p.

7 **Popy`rin, L. S.** Matematicheskoe modelirovanie i optimizaciya teploe`nergeticheskix ustanovok [Mathematical modeling and optimization of thermal power plants] – M.: Energy, 1978. – 342 p.

8 **Vul`man, F. A., Koryagin, A. V., Krivoshej, M. Z.** Matematicheskoe modelirovanie teplovy`x sxem [Mathematical modeling of thermal circuits] – M.: Mechanical Engineering, 1985. – 112 p.

9 **Tarasyuk, V. P.** Matematicheskoe modelirovanie texnicheskix system [Mathematical modeling of technical systems] – Minsk: DesignPRO, 1997. – 640 p.

10 **Berezina, L. Yu.** Grafy` i ix primeneniye: posobie dlya uchitelej [Graphs and their application: a manual for teachers] – M.: Education, 1979. – 143 p.

* *Г. А. Айтмағамбетова, А. С. Никуфоров*

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы,
Павлодар қ.

КОКСТЫ КҮЙДІРУ КЕШЕНІНІҢ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ТИІМДІ ЖҰМЫСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ МӘСЕЛЕСІНІҢ КЕЙБІР АСПЕКТІЛЕРІ

Бұл мақалада коксты күйдіру кешенінің энергия тиімділігін оңтайландыру бойынша зерттеу берілген. Авторлар процесті талдауды графикалық әдісті қолдана отырып жүзеге асырады, бұл процесс ағынының диаграммаларын зерттеудің қуатты құралы болып табылады. Олар бағытталған графикті құру процесін, сонымен қатар құрылымдық матрицаны және тізбек контурларының іргелес матрицасын құруды көрсетеді. Бұл график құрылымын егжей-тегжейлі сипаттауға және модельдеу процесін оңтайландырудың математикалық негізін беруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тізбектің әрбір элементі үшін энергия ағындарының тепе-теңдік теңдеулері әзірленеді, қысым мен энтальпиялық айырмашылықтар талданады. Бұл тәсіл энергия ағындарын тиімдірек басқаруға және кешен жұмысын оңтайландыруға ықпал етеді, бұл оның өнімділігін арттыру және шығындарды азайту үшін маңызды. Мақалада энергия тиімділігін талдаудан және коксты күйдіру процесін оңтайландырудан басқа, осы әдістердің заманауи өнеркәсіпке қатыстылығы да қарастырылады. Процестерді модельдеуге және оңтайландыруға ұсынылған тәсіл кәсіпорындардың бәсекеге

қабілеттілігін арттыру және олардың қоршаған ортаға әсерін азайтудың кілті болып табылады. Бұл кешенді тәсіл өндіріс тиімділігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар шығындарды азайтады және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтады. Осылайша, мақалада тек теориялық талдау ғана емес, сонымен қатар өндірістік процестердің энергия тиімділігін арттыру бойынша практикалық ұсыныстар берілген.

Кілтті сөздер: оңтайландыру, энергия тиімділігі, коксты күйдіру, графиктік әдіс, матрица

***G. A. Aitmagambetova, A. S. Nikiforov**

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

**SOME ASPECTS OF THE OPTIMIZATION
PROBLEM
ENERGY-EFFICIENT OPERATION OF THE COKE
CALCINATION COMPLEX**

This article presents a study on optimizing the energy efficiency of a coke calcination complex. The authors carry out process analysis using the graph method, which is a powerful tool for studying process flow diagrams. They demonstrate the process of constructing a directed graph, as well as constructing a structural matrix and an adjacency matrix of circuit contours. This allows us to describe the graph structure in detail and provide a mathematical basis for

optimizing the modeling process. Additionally, for each element of the circuit, balance equations of energy flows are developed, and pressure and enthalpy differences are analyzed. This approach contributes to more efficient management of energy flows and optimization of the complex's operation, which is important for increasing its productivity and reducing costs. In addition to analyzing energy efficiency and optimizing the coke calcination process, the article also discusses the relevance of these methods to modern industry. The presented approach to modeling and optimization of processes is key to improving the competitiveness of enterprises and reducing their environmental impact. This integrated approach not only improves production efficiency, but also reduces costs and reduces the negative impact on the environment. Thus, the article presents not only a theoretical analysis, but also practical recommendations for improving the energy efficiency of industrial processes.

Keywords: optimization, energy efficiency, coke calcination, graph method, matrix

SRSTI 50.49.37

***K. Akishev¹, J. Nurtay²**

K Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Republic of Kazakhstan, Astana

¹ ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5202-3501>

² ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0744-0389>

*email: akmail04cx@mail.ru

AUTOMATION OF LABOR PROTECTION SYSTEM MANAGEMENT AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

In the hearing State, to which the Republic of Kazakhstan belongs, issues related to occupational safety and health at industrial enterprises, regardless of the form of ownership, are given quite a lot of attention. Because the citizens of the country are the main wealth of the country.

If at large enterprises, including with the participation of foreign capital, the process of ensuring labor protection measures is organized to some extent, then at medium-sized and small businesses, work is practically not carried out.

Today, in the subjects of medium and small businesses, the organization of accounting, control and timely instruction, if conducted in the old-fashioned way

with an entry in journals or in word or excel documents, which today is not only not effective, but also does not ensure the full fulfillment of the duties of an occupational safety engineer and safety regulations (FROM and TB).

The adopted Law on Digitalization, the tasks set by the President of the Republic of Kazakhstan in, require managers of industrial enterprises, technical specialists dealing with labor protection issues to radically change the organization of the process of ensuring the learning process, monitoring and compliance with safety and sanitary rules using information technology.

The article presents a computer program capable of integrating into an automated industrial enterprise management system, in particular, into an automated workplace of an industrial safety engineer.

The developed computer program allows employees of an industrial enterprise (of any division) to be instructed and tested in a remote format directly at the workplace;

The practical application of the developed program on a small business entity during the year made it possible to increase the effectiveness of labor protection measures by 25%, eliminate occupational injuries and reduce the level of safety violations by 75%.

Keywords: control automation system, labor protection, industrial enterprise, information systems, program

Introduction

The automation system of occupational safety and health (OS and H) at an industrial enterprise should be based on the use of information technologies, ensuring both corporate and information security.

The number of injuries in Kazakhstan has not decreased and remains at the same level, which requires the close attention of regulatory services. [1].

The organization of OS and H at an industrial enterprise includes the development of software codes capable of integrating various aspects of the management system, in particular, the analysis of data on accidents, the movement of personnel along the career ladder, accounting and control of the passage of occupational health and safety measures, and more.

In this regard, a key figure in the occupational health and safety automation system is a safety engineer.

The functional of a safety engineer consists not only in conducting briefings, writing out work orders, for the most part, his main task is to monitor compliance and fulfillment rules, instructions, regulations guaranteeing the preservation of life and health of both production and administrative personnel.

Moreover, in small enterprises with fewer than 50 employees, a safety engineer is not provided. This functionality is assigned either to the head or another employee of the enterprise and not only the logs are not always filled in, but there are even no necessary instructions and the necessary briefings are not carried out.

Today's realities require the introduction of digital technologies, including in labor protection, as noted in the message of the President of the country [2;3].

In this regard, the purpose of the study is the need to develop a computer program that ensures compliance with occupational health and safety measures, allowing you to automate the functionality of an occupational health and safety engineer or a person replacing him at an industrial enterprise.

Materials and methods

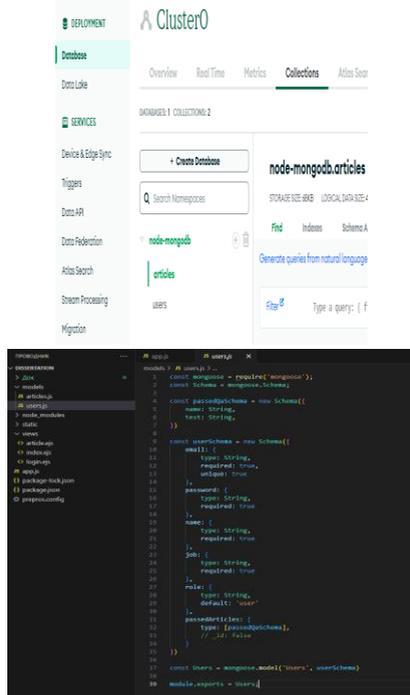
The developed program code is executed using JavaScript languages (Node.js can be downloaded from the official website nodejs.org), HTML, CCS.

The Express framework was used to create the server side of the program code.js for Node.js . Express.js is used to create web applications and APIs based on Node.js .

To add a database to Express.The js application uses Mongoose, a library for working with MongoDB, which creates data models and executes queries to the database.

Fig. 1a, shows the Connection String, which contains information about the host, port, database name, and credentials.

Fig. 1b, shows the code block of the users data model, which defines the structure and data types for storing information in the MongoDB database.



a) b)
Figure 1 – a) the Connection String, b) the code block

To log into the protected parts of the program, use middleware, which checks the user's authorization. Middleware checks whether the user has authentication data (for example, session data) and determines whether he has access to protected resources (see fig. 2).

```
tabnine: test | explain | document | ask
app.use((req, res, next) => {
  if (req.path == '/login' || req.path == '/auth') {
    return next();
  }

  if (req.session && req.session.authenticated) {
    req.session.touch();
    next();
  } else {
    res.redirect('/login');
  }
})
```

Figure 2– Verification of user authorization

The passed parameters are available in the JS template for dynamic content generation. For example, the role parameter can be used to generate admin elements or other content depending on the user's role (see fig. 3).

```
<% if (role == 'admin') { %>
  <div class="catalog-container">
    <div style="font-size: 36px; font-weight: 500;">Пользователи</div>

    <div class="f-between">
      <div class="setting-text" onclick="openModal(addUserModal)">
        + Добавить пользователя
      </div>

      <button class="customButton" style="background-color: #b43a45; color: #fff;" onclick="deleteUser()">
        Удалить
      </button>
    </div>

    <div class="users-container"></div>
  </div>
<% } %>
```

Figure 3– Role Verification block

To develop the client side of the program, semantic tags were used in HTML markup to create the page structure and built-in EJS templates for dynamic content generation. headings, forms, buttons, and more (see fig.4).

```

# app.js  index.ejs
views > index.ejs > html > body > modals > ? > dialogAddUserModal.modal-container
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="ru">
3 <head>
4 <meta charset="UTF-8">
5 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6 <link rel="stylesheet" href="/css/index.css">
7 <link rel="stylesheet" href="/css/bootstrap.css">
8 <link rel="stylesheet" href="/css/bootstrap-icons.css">
9 <title>Safety | Home</title>
10 </head>
11 <body>
12 <header>
13 <div>Safety</div>
14 <input type="checkbox" id="isAdmin" hidden <% if (role == 'admin') { %> checked <% %> >
15 </div>
16 <div onclick="logout()">Logout</div>
17 </header>
18 <main>
19 <div class="main-container">
20 <div class="head-container">
21 <div id="userName"><% name %></div>
22 <div class="d-flex" style="color: #4777;">
23 <div class="bi bi-person-circle me-2"></div>
24 <div id="userJob"><% job %></div>
25 </div>
26 <div class="find-container">
27 <input class="findArticle-input" placeholder="Найти статью">
28 </div>
29 </div>
30 </main>
31 </body>
32 </html>
33

```

Figure 4—HTML + EJS markup

Next, the pages are styled using CSS, with the definition of the appearance and location of the elements (see fig. 5).

To develop the client side of the program, semantic tags were used in HTML markup to create the page structure and built-in EJS templates for dynamic content generation. headers, forms, buttons, and more.

Thanks to this, it was possible to significantly reduce the development time, as well as provide simpler support and scalability of the project [4;7].

```
.catalog-type span {
  margin-inline: 20px;
  font-size: 20px;
  font-family: Inter-medium;
}

.catalog-type:active {
  color: #198754;
  border-bottom: 4px solid #198754;
}

/* Articles */
.articles-container {
  display: flex;
  flex-wrap: wrap;
  justify-content: space-between;
  margin-top: 20px;
  font-family: Inter-regular;
}

.article-card {
  position: relative;
  width: 220px;
  height: 210px;
  padding: 10px;
  border: 0;
  border-radius: 12px;
}
```

Figure 5– Element Styles

The use of JavaScript (vanilla) made it possible to improve the functionality of the program, process user events, validate data on the client side and interact with the server without reloading the page, expand the capabilities of the program [8;10].

Below, the functionality of the program code is presented, its key features and specific features, in particular, functions for sending responses, counting the number of correct user responses, sending a list of tests passed by the user (see Fig. 6).

```
tabnine: test | explain | document | ask
69 function submitAnswer() {
70   const answers = [];
71
72   document.querySelectorAll('.thisArticleAnswer-container').forEach(item => {
73     let questionInputs = item.querySelectorAll('input');
74     for (let i = 0; i < questionInputs.length; i++) {
75       if (questionInputs[i].checked) {
76         answers.push(questionInputs[i].value);
77       }
78     }
79   })
80
81   submitRequest(window.location.href + '/submitTest', 'post', answers)
82     .then((res) => {
83     let correctCount = 0;
84     res.forEach(answer => {
85       if (answer) correctCount++;
86     })
87     alert("Количество верных ответов - " + correctCount);
88   })
89 }
```

Figure 6– Function for sending responses

The developed program code allows you to maximize the functionality and tasks of the study and has the opportunity to expand the capabilities of the program.

Results and discussion

Description of the program code menu in Russian. There are several ways to run the developed program code:

1) GitHub: Download the directory with the application files from the GitHub website where it is hosted (<https://github.com/Alik243/Safety>).

2) From the media: USB flash drive or external disk) to your computer;

3) Cloud Storage: Google Drive/

After the dependencies are successfully installed, the Node server must be started.js using `npm start` or `node app command.js` in the terminal.

The program launch is available at: `http://localhost:3000` (see fig. 7).

```
Windows IP Configuration

Ethernet adapter Ethernet:

    Connection-specific DNS Suffix  . : localhost.com
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::8dcd:40b0:cc18:8f4a%7
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.0.5
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : fe80::1%7
                                192.168.0.1
```

Figure 7 – Command to get an IP address (windows)

Log in to the «automated workplace of an occupational safety engineer» program using your credentials (see Fig. 8).



The image shows a login form titled "AUTHORIZATION" in blue capital letters. Below the title are three purple rectangular input fields with rounded corners. The first field contains the text "ENTER YOUR USERNAME" in red capital letters. The second field contains "ENTER THE PASSWORD" in red capital letters. The third field contains "ENTER" in red capital letters.

Figure 8 –Login to the system

Fig. 9 shows the nomenclature of the functional of the software code «automated workplace of an OS and H engineer» (OS and H), the headings of instructions, orders, a brief description, the number of readers, and the time of familiarization. Users can sort instructions and orders by sections: «New», "Mandatory" (for users with a certain position) and «Additional» (optional).



Figure 9–Nomenclature of instructions

An OS and H engineer can create new instructions and orders using a special key on the main page in a window with fields for entering the necessary information (see fig. 10).

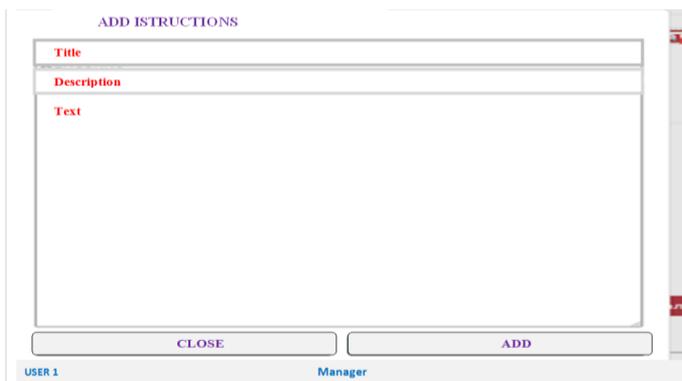
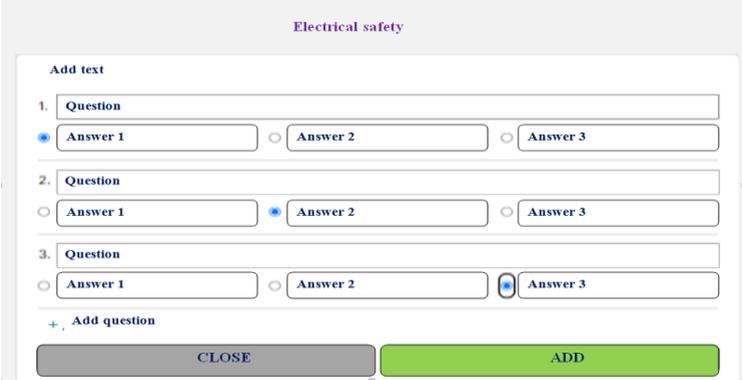


Figure 10–Adding instructions, orders

The OS and H engineer sees a list of all users, including their names and positions, and can add a user.

He can also create tests on the topics of instructions and orders (see fig. 11).



Electrical safety

Add text

1. Question

Answer 1 Answer 2 Answer 3

2. Question

Answer 1 Answer 2 Answer 3

3. Question

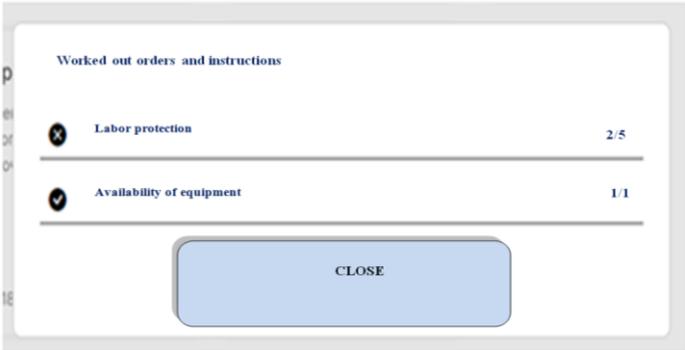
Answer 1 Answer 2 Answer 3

+ Add question

CLOSE ADD

Figure 11–Creating tests

After passing the tests according to instructions or orders, the OS and H engineer has the opportunity to view the test results in the «users» section (see fig. 12).



Worked out orders and instructions

Labor protection 2/5

Availability of equipment 1/1

CLOSE

Figure 12–Test result

Conclusions

The use of the developed software code "automated workplace of an OS and H engineer" will increase the efficiency of the automation and control system at an industrial enterprise..

In turn, this allows you to:

- delegate the authority of an OS and H engineer, technical personnel of an industrial enterprise, if necessary;

- improve measures to monitor the timely completion of briefings, passing qualification tests, familiarization with orders and orders;

- automate the work of an OS and H engineer, reduce the amount of manual work, increase efficiency through the introduction of digital technologies;

- eliminate the influence of the human factor when passing control tasks;

- to use the software product in industrial enterprises of medium and small businesses;

- access the program from anywhere with an internet connection;

- the possibility of integration into an automated enterprise management system.

Practical testing of the developed software product on a small business entity during the year allowed it to increase the effectiveness of occupational safety and health measures by 25 %, eliminate industrial injuries, and reduce the level of safety violations by 75 %.

REFERENCES

1 Производственный травматизм в Казахстане сохранен на уровне 2021 года [Текст]:[Электронный ресурс] :URL:<https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek/press/news/details/496899?lang=ru>

2 Закон Республики Казахстан. О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам стимулирования инноваций, развития цифровизации, информационной безопасности и образования. [Текст]: [Электронный ресурс] :URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33516174

3 Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана. **Единство народа и системные реформы – прочная основа процветания страны.** [Текст]:[Электронный ресурс]:URL: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-183048>

4 Таненбаум Э., Ван Стернер Д. «Распределенные системы: принципы и парадигмы» [Текст]: [Электронный ресурс] :URL:

<https://studizba.com/files/show/pdf/54180-1-e-tanenbaum-m-van-steen--raspredelennye.html>

5 Hypertext Transfer Protocol (HTTP): [Электронный ресурс] :URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP>

6 Honbo, Zh. **The internet of things in the cloud.** [Текст]: [Электронный ресурс] :URL:<https://aitskadapa.ac.in/e-books/AI&DS>

[/CLOUD%20COMPUTING/ The %20Internet%20of%20Things%20in%20the%20Cloud.%20%20A%20Middleware%20Perspective%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](#)

7 Кантелон, М., Хартер, М., Головайчук, Т., Райлих, Н. Node.js в действии [Текст]. — СПб.: Питер, 2014.-348с.

8 Руководство по Node.js, часть 1: общие сведения и начало работы [Текст]: [Электронный ресурс] :URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/422893/>

9 Node.js Introduction [Текст]: [Электронный ресурс] :URL: <https://www.geeksforgeeks.org/node-js-introduction/>

10 Node.js Tutorial. [Текст]: [Электронный ресурс]:URL: <https://www.javatpoint.com/nodejs-tutorial>

REFERENCES

1 Proizvodstvennii travmatizm v Kazakhstane sokhranen na urovne 2012goda [Occupational injuries in Kazakhstan remained at the level of 2021]: [Text]:[Electronic resource]:URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek/press/news/details/496899?lang=ru>

2 Zakon Respubliki Kazakhstan. O vnesenii izmenenii i dopolnenii v nekotorie zakonodatel'nie akti Respubliki Kazakhstan po voprosam stimulirovaniya innovacii, razvitiya cifrovizacii, informacionnoi bezopasnosti i obrazovaniya [The law of the republic of kazakhstan. On amendments and additions to some legislative acts of the Republic of Kazakhstan on stimulating innovation, digitalization, information security and education]:[Text]:[Electronic

resource]:URL: [https://online.zakon.kz/ Document /?doc_id=33516174](https://online.zakon.kz/?doc_id=33516174)

3 Poslanie Glavi gosudarstva K. Tokaeva narody Kazakhstana народу. Edinstvo naroda i sistemnie reformi – prochnaya osnova procvetaniya strain [The message of the Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan. The unity of the people and systemic reforms are a solid foundation for the prosperity of the country] [Text]:[Electronic resource]:URL: <https://www.akorda.kz/ru/>

4 Tanenbaum, E., Van Sterner, D. «Raspredeleennie sistemi:principi i paradigm» [Distributed systems: principles and paradigms]:[Text]:[Electronic resource]:URL: <https://studizba.com/files/show/pdf/54180-1-e-tanenbaum-m-van-steen--raspredeleenny.html>

5 Hypertext Transfer Protocol (HTTP): Set' razrabotchkov Mazzilla [Mozilla Developer Network] [Text]:[Electronic resource]:URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP>

6 Honbo, Zh. The internet of things in the cloud: [Text] :[Electronic resource]:URL: [https://aitskadapa.ac.in/e-books/AI&DS/CLOUD%20COMPUTING/The%20Internet%20of%20Things%20in%20the%20Cloud.%20%20A%20Middleware%20Perspective%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://aitskadapa.ac.in/e-books/AI&DS/CLOUD%20COMPUTING/The%20Internet%20of%20Things%20in%20the%20Cloud.%20%20A%20Middleware%20Perspective%20(%20PDFDrive%20).pdf)

7 Kantelon M, Harter, M., Golovaichuk, T., Railich, N. Node.js v deistvii [Node.js in action]: [Text]. — Spb.: Piter, 2014.-348p.

8 Rukovodstvo po Node.js, chast' 1: obshie svedeniyz i nachalo raboti [The Node Guide.JS, Part 1: General

information and getting started]: [Text]: [Electronic resource]:

URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/422893/>

9 Node.js Introduction: [Text]:[Electronic resource]:URL: <https://www.geeksforgeeks.org/node-js-introduction/>

10 Node.js. Tutorial:[Text]:[Electronic resource]:URL: <https://www.javatpoint.com/nodejs-tutorial>

**К. Акишев., Ж. Нуртай*

Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДА ЕҢБЕКТИ ҚОРҒАУ ЖҮЙЕСІН БАСҚАРУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Өзіне және Қазақстан Республикасына қатысты еститін мемлекетте меншік нысанына қарамастан өнеркәсіптік кәсіпорындарда Еңбекті қорғау мен техника қауіпсіздігін қамтамасыз етуге байланысты мәселелерге көп көңіл бөлінеді. Ел азаматтары елдің басты байлығы болғандықтан.

Егер ірі кәсіпорындарда, оның ішінде шетелдік капиталдың қатысуымен, белгілі бір дәрежеде еңбекті қорғау және қауіпсіздік техникасы жөніндегі іс-шараларды қамтамасыз ету процесі ұйымдастырылса, онда орта және шағын бизнес субъектілерінде ол іс жүзінде орындалмайды,

демек, өнеркәсіптік жарақаттану мен жазатайым оқиғалардың көп саны.

Бүгінгі күні орта және шағын бизнес субъектілерінде есепке алуды, бақылауды және Кіріспе, Жұмыс орнында, ағымдағы және басқа да нұсқамаларды уақтылы өткізуді ұйымдастыру журналдарда немесе Word немесе Excel құжаттарында жазумен ескі әдіспен жүргізіледі, бұл бүгінгі күні тиімді ғана емес, сонымен қатар еңбекті қорғау жөніндегі инженердің лауазымдық міндеттерін толық орындауды қамтамасыз етпейді және қауіпсіздік техникасы (ОТ және ТБ).

Қабылданған цифрландыру туралы Заң, Қазақстан Республикасының Президенті қойған міндеттер, өнеркәсіптік кәсіпорындардың басшыларынан, еңбекті қорғау және қауіпсіздік техникасы мәселелерімен айналысатын техникалық мамандардан, оқыту процесін қамтамасыз ету процесін ұйымдастыруға, ақпараттық технологияларды қолдана отырып, қауіпсіздік техникасы мен еңбекті қорғау ережелерін бақылау мен сақтауға түбегейлі өзгерістер енгізуді талап етеді.

Ұсынылған мақалада өнеркәсіптік кәсіпорынның автоматтандырылған басқару жүйесіне, атап айтқанда өнеркәсіптік кәсіпорынның қауіпсіздік техникасы бойынша инженердің автоматтандырылған жұмыс орнына біріктіруге қабілетті компьютерлік бағдарлама ұсынылады.

Компьютерлерге арналған бағдарлама өнеркәсіптік кәсіпорынның (кез-келген бөлімшесінің) қызметкерлеріне тікелей жұмыс орнында қашықтағы форматта нұсқау мен білімді тексеруден өтуге мүмкіндік береді;

Жыл бойы шағын бизнес субъектінде әзірленген бағдарламаны іс жүзінде пайдалану Еңбекті қорғау және қауіпсіздік техникасы жөніндегі іс-шаралардың тиімділігін 25 % - га арттыруға, өнеркәсіптік жарақаттануды болдырмауға, қауіпсіздік техникасын бұзу деңгейін 75 % - га төмендетуге мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: басқаруды автоматтандыру жүйесі, еңбекті қорғау, өнеркәсіптік кәсіпорын, ақпараттық жүйелер, бағдарлама,

**К. Акишев., Ж. Нуртай*

Казахский университет технологии и бизнеса имени К
Кулажанова, Республика Казахстан, г. Астана

АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В слышащем государстве, к которым относит себя и Республика Казахстан, достаточно большое внимание уделяется к вопросам связанным к обеспечению охраны труда и

техники безопасности на промышленных предприятиях не зависимо от формы собственности. Так как граждане страны являются главным богатством страны.

Если на крупных предприятиях, в том числе с участием зарубежного капитала, в какой-то мере и организован процесс обеспечения мероприятий по охране труда и техники безопасности, то на субъектах среднего и малого бизнеса, он практически не выполняются, отсюда и большое количество промышленного травматизма и несчастных случаев.

На сегодняшний день на субъектах среднего и малого бизнеса организация учета, контроля и своевременного прохождения вводного, на рабочем месте, текущего и других инструктажей ведется по старинке с записью в журналах или в документах ворд или эксел, что на сегодня не только не эффективно, но и не обеспечивает полноценного выполнения должностных обязанностей инженера по охране труда и технике безопасности (ОТ и ТБ).

Принятый Закон о цифровизации, задачи поставленные президентом Республики Казахстан в, требуют от руководителей промышленных предприятий, технических специалистов занимающихся вопросами охраны труда и техники безопасности, коренного изменения к организации процесса обеспечения процесса обучения, контроля и соблюдения правил техники безопасности и

охраны труда с применением информационных технологий.

В представленной статье предлагается программа для ЭВМ способная интегрироваться в систему автоматизированную систему управления промышленного предприятия, в частности автоматизированное рабочее место инженера по технике безопасности промышленного предприятия.

Разработанная программа для ЭВМ, позволяет сотрудникам промышленного предприятия (любого подразделения) проходить инструктаж и проверку знаний в удаленном формате непосредственно на рабочем месте;

Практическое использование разработанной программы на субъекте малого бизнеса в течении года, позволила повысить эффективность мероприятий по охране труда и технике безопасности на 25 %, исключить промышленный травматизм, снизить уровень нарушений техники безопасности на 75 %.

Ключевые слова: система автоматизации управления, охрана труда, промышленное предприятие, информационные технологии, программа

МРНТИ 44.31.33

***A. Atyaksheva¹, A. Mergalimova², S. Ybray³, A. Dashevskaya⁴, N. Ryvkina⁵**

^{1,2,3} S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

⁴ Samruk-Energy Joint Stock Company

⁵ L. N. Gumilyov Eurasian National University
Republic of Kazakhstan, Astana

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2523-3890>

² ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>

³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5262-2149>

⁴ ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5599-8117>

⁵ ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4646-3348>

*e-mail: sahsa77@mail.ru

SIMULATION HEATING PROCESS FOR WEAKLY REACTIVE COAL IN THE HORIZONTAL REACTOR.

In this study results of the active medium parameters influence formed by hot air on the thermal heating process of weakly reactive coal from the formation «Maikubensk 3B» for the extraction of additional heat are represented. In the course of the research the regularities of the hygroscopic moisture and volatile combustible substances release for the obtaining additional heat have been determined. Optimal temperature ranges of the stage heating taking

into account thermal destruction of coal in the temperature range from 20 °C to 600 °C, the main steps of the insulated heating process, the moisture content gradient propagation lines and dependence of the heat transfer and mass transfer coefficients on the temperature and the humidity during the thermal heating process in the horizontal coal heating reactor. The results show that it is possible to release volatile combustible gases with a gradual increase of temperatures in the obtained mode. The heating mode comprises a pre-heating stage with hygroscopic moisture release, in the temperature range from 20 °C to 105 °C, the stage of isothermal heating in the temperature range from 105 °C to 400 °C and the phase of flame-free combustion in the temperature range from 400 °C to 600 °C with the temperature rise above the set value. Process simulation was carried out in the Comsol Multiphysics software environment for the weakly reactive coal real-world heating conditions.

Keywords: coal heating, weakly reactive coal, isothermal heating, step-by-step heating, Lagrange method, non-linear equation, non-stationary process.

Introduction

The necessity to improve fuel combustion efficiency has been identified, first of all, by developing clean coal technologies with the possibility of obtaining additional heat while increasing fuel combustion and reducing toxic emissions. [1, p. 22]. Such conditions are set by the global trend towards zero carbon emissions and the Strategy for the

development of the Republic of Kazakhstan until 2060 [2, p. 43 – 44]. The world Clean Coal Development Direction has three main pathways, such as the design and adjustment of the coal-using plants geometry, the use of coal-additives, modifiers, activators, etc., and the introduction of flexible fuel combustion technologies, including preheating. Preheating is well established in such devices as low-power long-term combustion boilers, synthesis gas generation installations, coke installations and volatile fuel gas emission devices for the replacement of high-calorific fuel oil [3, p. 3 – 5]. However, such installations mainly use prepared high calorific coking or long-flame coals and have required for the implementation of the above technologies significant thermal volume of flue volume, according to which high temperature ranges [4, p. 48], [5, p. 12]. In conditions of the weakly reactive fuels preheating it is possible to provide the carbon recharge zones with hot CO₂ while increasing the thermal volume of the flue volume due to the flame-free burning of the released combustible gases [6, p. 4 – 5]. In addition, preheating process do not required the preparing of the fuels, therefore it is economic process. However, the development of such technologies requires flexibility in the using of weakly reactive coals in the heating mode, active medium type, stages, taking into account the temperature impact and the emitted components from the thermal destruction during the thermal heating process [7, p. 226 – 228], [8, p. 5 – 6].

Materials and methods

The method of reproduction and analysis of finite elements for the process of heating weakly reactive coal in the Comsol Multiphysics application software. Lagrangian

variation method for non-stationary heat exchanging, where the main unknown is the displacement point of the discrete system, defined by the volume of coal contained in a rectangular container with dimensions represented in the Tabl. 1.

Table 1 – Container parameters

№	Name	Designation	Unit	Amount
1	Height of the container	L_1	[m]	1.2
2	Width of the container	L_2	[m]	0.9
3	Depth of the container	L_3	[m]	1.0
4	Container wall thickness	δ	[m]	0.05
5	Maximum filling height of coal	H_1	[m]	0.8
6	Actual filling coal height	H_2	[m]	0.7

Time dependent coefficient from partial differential equation of the Lagrange shape function in the heat transfer through the steel wall of the container and inside of coal:

$$e_a \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \partial_a \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-c \nabla T - aT + \gamma) + \beta \cdot \nabla T + aT = f$$

(1)

where:

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right]$$

c – diffusion coefficient $[W / m \cdot C]$;

e_a – mass coefficient $[W / m^3 \cdot C]$;

a – absorption coefficient $[kg / m \cdot s \cdot C]$;

f – source term $(\rho \cdot g)_{coal} [W / m^3]$;

d_a – damping coefficient $(\rho \cdot c)_{coal} [J / m^3 \cdot C]$;

β – convection coefficient $[W / m^2 \cdot C]$;

γ – conservative flux source $[W / m^2]$.

Data base properties for the process represented in the
Tabl. 2

Table 2 – Data base properties

№	Name	Amount
1	Coal temperature of the beginning of the process	20 [C]
2	Reactor temperature at the beginning of the process	380 [C]

3	Indoor air temperature at the beginning of the process	400 [C]
4	Density of coal	800 [kg/m ³]
5	Coal thermal capacity	1300 [J/kg C]
6	Coal thermal conductivity	0.33 [W/m C]
7	High carbon steel density	7900 [kg/m ³]
8	Steel thermal capacity	460 [J/kg C]
9	Steel thermal conductivity	0.76 [W/m C]

Zero flux in the time dependent process was defined:

$$-n \cdot (-c\nabla T - aT + \gamma) = 0$$

(2)

where:

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right]$$

Accordingly, flux source was defined:

$$-n \cdot (-c\nabla T - aT + \gamma) = g - qT$$

(3)

where:

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right];$$

$$g - T - T_{air} \text{ - boundary flux, } [W / m^2];$$

$$q - \text{ boundary absorption, } 0 [W / m^2 \cdot C].$$

Results and discussions

The simulation of the weakly reactive coal heating process has achieved the following objectives:

- 1) identification of the most optimal temperature ranges of the moisture and combustion components;
- 2) heat pressure and hygroscopic coal moisture relationship;
- 3) requirements for the thermal heating temperature ranges of the weakly reactive coal in a horizontal type reactor.

Simulation of coal heating process in air volume had performed using Comsol Multiphysics software with detection of the optimal temperature ranges of heating and provision of hydroscopic moisture release in the temperature range from 105 °C to 200 °C. Heating was carried out within 10 min at the rate of heating samples 6 °C/min. The results of the experiment which represented in Fig.1 demonstrate the heating temperature zones of weakly reactive coal in the temperature range from 100 °C to 600 °C, taking into account the vacuum layer available in the reactor near the wall [9, p. 9 –11].

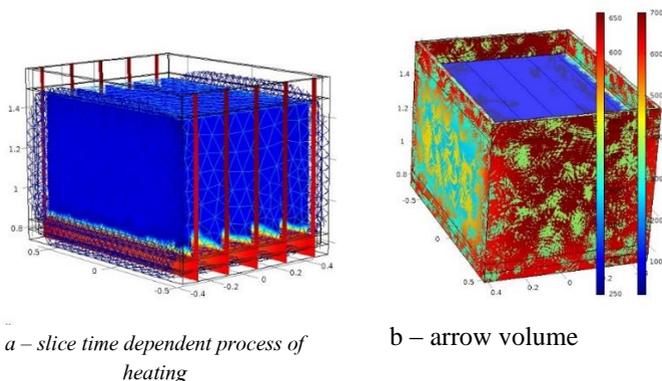
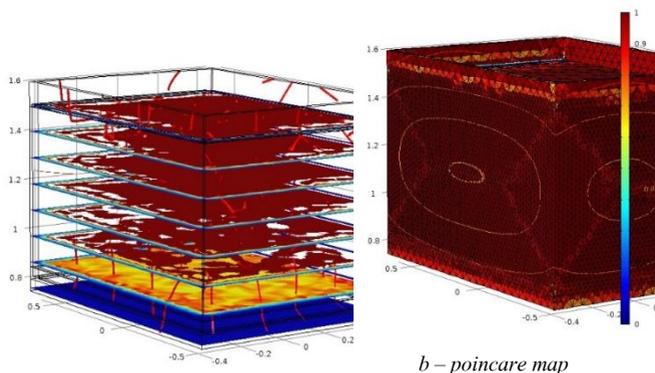


Fig.1 – The process of non-isothermal coal heating in the horizontal reactor

Despite the presence of the vacuum layer in the volume of the bedding, the highest increase in temperature is observed with the formation of temperature ranges from 500 °C to point values of 700 °C at a predetermined heating up to 600 °C. This indicates the presence of additional heat within the coal volume. Nonthermal heating of coal in a hot air medium is the result of molecular and kinetic component of coal and hot air during heat transfer through the steel wall of the reactor, according to the resulting temperature and moisture content gradients. The results of the experiments which have represented in Fig. 2 (a, b) show that for thermal destruction, which is necessary as an initial condition for the decomposition of intramolecular bonds, the initial stage of the heat transfer agent supply to the coal heating reactor is the most effective, since the partial pressure inside the reactor is

determined only by the function of the temperature of the medium: $T_m = T_{air} - T_{coal}$.



a – humidity gradient direction

Fig. 2 – Non-isothermal coal heating in the horizontal reactor

Further rise of temperature leads to the release of hygroscopic moisture and the formation of a water film on the coal surface, which reduces the heating efficiency until the end of the condensation and evaporation period. At the same time, the convection coefficient in the horizontal reactor will always be connected by thermal head $T_{air} - T_{coal}$ according to the formule of A. A. Kucharenko [9, p. 23]:

$$\beta = \frac{5170 - 20.5(T_{air} - T_{coal})}{\sqrt[4]{H_2(T_{air} - T_{coal})}} \quad (4)$$

Thus, the qualitative heating conditions of the weakly reactive coals in the horizontal reactors are directly dependent

on the flexible step-by-step temperature mode, taking into account coal moisture content evaporation, the process of the condensation and the further destruction of the internal bonds due to thermal heating, determined by the kinetic nature, molecular bonds and thermal head between the temperature of air and coal.

The coefficients of heat transfer and mass transfer are determined by the local gradient of temperature and moisture content, in accordance with which:

$$e_a = \frac{\rho_2 \cdot \nabla W_1 - \rho_1 \nabla W_2}{\rho_1 \nabla T_2 - \rho_2 \nabla T_1} \quad (5)$$

$$c = \frac{\rho_2 \cdot \nabla T_1 - \rho_1 \nabla T_2}{(\nabla W_1 \nabla T_2 - \nabla W_2 \nabla T_1) \gamma_0} \quad (6)$$

where: $\nabla W_1; \nabla W$ – humidity gradient in the set section

at a set point in time;

$\nabla T_1; \nabla T_2$ – temperature gradient at a set point in time;

γ_0 – specific gravity of moisture content.

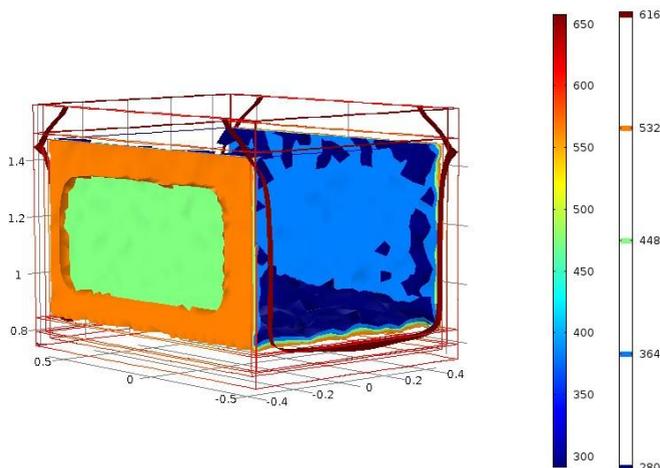


Fig. 3 – The intensive condensation process in the non-isothermal coal heating in the horizontal reactor.

Heat and mass transfer coefficients reach the peak in the initial heating period during the 10 minutes as shown in the Fig. 3. Significant temperature and moisture changes in coal volume due to the development of chemical processes to release CO_2 and CH_4 intensify the destruction processes in coal, determined by the non-consensual thermal expansion of coal components [9, p. 7 – 10].

Consequently, the thermal heating process of coal in the medium formed by hot air, under conditions of the hygroscopic moisture vapours condensation contributes to:

- the emergence of thermal destruction processes in the outer layers of coal due to the release of moisture expansion;
- ensuring temperature drops along the cross section of the coal to be heated;
- the emergence of the pressure gradient.

All the above mentioned have a significant impact on the destruction processes in the coal to be heated, which are necessary for the release of volatile combustible substances, and indicate the possibility of conducting short thermal heating modes of the weakly reactive coals.

Funding information

This study is published as part of the implementation of grant funding scientific projects of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, IRN AP19675062 «Development of clean coal technology for the production of volatile fuel substances».

Conclusions

The time-dependent coal heating process in a horizontal reactor in the medium formed by hot air has determined by the air supply mode, taking into account the properties of coal and the size of the reactor, exactly height of the coal filling, which directly affect the heat and mass transfer process under conditions of mass losses at the stages release of the hygroscopic moisture, the destruction of the fragmentary composition, the weak molecular bonds with the release of volatile gases components and the decomposition of the carbon residue with the release of low molecular combustible gases. The results of the study have showed that for the brown coal from the formation «Maykubensk 3B», warm-up in a horizontal reactor is directly determined by the level of actual coal filling in the reactor, its humidity and temperature pressure between hot air and coal. The optimum mode proposed for the heating process of sabotage coals with additional heat is determined by three general stages:

coal drying with temperature rising range from 20°C to 105°C;

time-dependent heating in the temperature range from 105°C до 400°C;

Temperature rising to 600°C followed by insulated isothermal heating process.

REFERENCES

1 Ob utverzhdenii Strategii dostizheniya uglerodnoj nejtral'nosti Respubliki Kazaxstan do 2060 goda. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazaxstan ot 2^{go} fevralya 2023 goda № 121. [On approval of the Strategy for achieving carbon neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060. Presidential Decree of 2nd February 2023 Number 121]. [Electronic resource]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>

2 E`kologicheskij Kodeks Respubliki Kazaxstan ot 2^{go} yanvarya 2021g. № 400–VI–ZRK. [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, dated January 2nd, 2021]. [Electronic resource]. URL: –<https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>

3 Mergalimova, A., Ongar, B., Georgiev, A., Kalieva, K., Abitaeva, R., Bissenbayev, P. Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances. [Text] // Energy. – 2021. – № 224 – 120088.

4 Zhang, L, Wang, Q., Xue, Q., Zuo, H., She, X, Wang, J. (2021). Effect of preheating on coking coal and metallurgical coke properties: A review. [Text] // Fuel Processing Technology. – 2021. – № 221 –106942.

5 **Zhang, J., Zhu, J., Liu, J.** Experimental Studies on Preheating Combustion Characteristics of Low-Rank Coal with Different Particle Sizes and Kinetic Simulation of Nitrogen Oxide Energies. [Text] // *Energy*. – 2023. – № 16 (20) – 7078.

6 **Atyaksheva, Al., Atyaksheva, An., Ryvkina, N., Yermekov, M., Rozhkova, O., Smagulov, A.** Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler «Kamkor-300». [Text] // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2022. – № 2211 – 012003.

7

S. Ybray, A. Dikhanbaev, B. Dikhanbaev, A. Mergalimova. Development of a technology for the production of hydrogen-enriched synthesis gas with waste-free processing of Ekibastuz coal. [Text] // *Energy*. – 2023. – № 278 (Part A) – 127817

8 **Hao, L., Kaiyi, Z.** Mechanism Exploration and application on Improving Coal Permeability by Heat Treating. [Text] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – 2021. – 062076.

9 **Mergalimova, A., Atyaksheva, A., Sultan, Y., Nursultan, S.** Identification of the low-rank coals thermal heating behavior. [Text] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2023. – № 2(6 (128)). – P.39–48.

10 **Novoselov, A., Seliverstova, E., Sorokin, S.** Diffusion of gases in liquids. The molecular diffusion coefficients of oxygen in water. [Text] // *Scientific journal SRU ITMO. Series «Processes and devices of food productions»*. – 2020. – № 3. – P.21–26.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121. [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>

2 Экологический Кодекс Республики Казахстан, от 2 января 2021г. № 400–VI–ЗРК [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>.

3 Mergalimova, A., Ongar, B., Georgiev, A., Kalieva, K., Abitaeva, R., Bissenbayev, P. Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances. [Text] // *Energy*. – 2021. – № 224 – ID number: 120088.

4 Zhang, L, Wang, Q., Xue, Q., Zuo, H., She, X, Wang, J. Effect of preheating on coking coal and metallurgical coke properties: A review. [Text] // *Fuel Processing Technology*. – 2021. – № 221 – ID number: 106942.

5 Zhang, J., Zhu, J, Liu, J. Experimental Studies on Preheating Combustion Characteristics of Low-Rank Coal with Different Particle Sizes and Kinetic Simulation of Nitrogen Oxide *Energies*. [Text] // *Energy*. – 2023. – № 16 (20) – ID number: 7078.

6 Atyaksheva, Al., Atyaksheva, An., Ryvkina, N., Yermekov, M., Rozhkova, O., Smagulov, A. Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler “Kamkor-300”. [Text] // *Journal of Physics: Conference Series* . – 2022. – № 2211 – ID number: 012003.

7

S. Ybray , A. Dikhanbaev , B. Dikhanbaev, A. Mergalimova. Development of a technology for the production of hydrogen-enriched synthesis gas with waste-free processing of

Ekibastuz coal. [Text] // Energy. – 2023. – № 278 (Part A) – ID number: 127817

8 **Hao, L., Kaiyi, Z.** Mechanism Exploration and application on Improving Coal Permeability by Heat Treating. [Text] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – ID number: 062076.

9 **Mergalimova, A., Atyaksheva, A., Sultan, Y., Nursultan, S.** Identification of the low-rank coals thermal heating behavior. [Text] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – № 2(6 (128)). – P.39–48.

10 **Novoselov, A., Seliverstova, E., Sorokin, S.** Diffusion of gases in liquids. The molecular diffusion coefficients of oxygen in water. [Text] // Scientific journal SRU ITMO. Series «Processes and devices of food productions». – 2020. – № 3. – P.21–26.

**А. В. Атыкшева¹, А. К. Мергалимова², С. Б. Ыбрай³, А. Д. Дашевская⁴,*

Н. В. Рывкина⁵

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

⁴«Самұрық-Энерго» АҚ;

⁵ Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, г. Астана.

**КӨЛДЕНЕН РЕАКТОРДА ӘЛСІЗ РЕАКТИВТІ
КӨМІРДІ ЖЫЛЫТУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ**

Бұл зерттеуде қосымша жылу алу үшін Майкобенск 3В кен орнының әлсіз реактивті көмірін қыздыруға ыстық ауаның әсерінен түзілетін белсенді ортаның параметрлерінің әсер ету нәтижелері берілген. Зерттеу барысында қосымша жылу алу үшін гигроскопиялық ылғалдың және ұшатын жанғыш заттардың бөліну заңдылықтары анықталды. 20°C-тан 600°C-қа дейінгі температура диапазонында көмірдің термиялық деструкциясын ескере отырып, кезең-кезеңмен қыздыру үшін оңтайлы температура диапазондары анықталды. Сондай-ақ изотермиялық қыздыру процесінің негізгі аймақтары, ылғалдылық градиентінің таралу сызықтары және көлденең реактордағы қыздыру процесінде жылу беру және масса алмасу коэффициенттерінің температура мен ылғалдылыққа тәуелділігі анықталды. Алынған нәтижелер температураның берілген бірте-бірте көтерілуімен ұшқыш жанғыш газдардың шығу мүмкіндігін көрсетеді. Қыздыру режимі гигроскопиялық ылғалдың бөлінуімен, 20 °C-тан 105 °C-қа дейінгі температура диапазонында алдын ала қыздыру кезеңін, 105 °C-тан 400 °C-қа дейінгі температура диапазонында изотермиялық қыздыру кезеңін және жсалынсыз жану фазасын қамтиды. Температураның белгіленген мәннен жоғары көтерілуімен 400 °C-тан 600 °C -қа дейінгі температура диапазонында байқалды. Әлсіз реактивті көмірді нақты қыздыру жағдайлары

үшін процесті модельдеу Comsol Multiphysics бағдарламасында жүзеге асырылды.

Кілтті сөздер: көмірді қыздыру, әлсіз реакциялы көмір, ұшқыш жанғыш газдар, изотермиялық сатылы қыздыру, Лагранж көбейткіш әдісі, тұрақсыз процесс, Ньютон әдісі.

**А.В. Атякшева¹, А. К. Мерғалимова², С. Б. Ыбрай³. А. Д. Дашевская⁴,*

Н. В. Рывкина⁵

^{1,2,3}Казахский агротехнический исследовательский университет

имени С. Сейфуллина.

⁴АО «Самрук-Энерго».

⁵НАО «Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева».

Республика Казахстан, Астана қ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА СЛАБОРЕАКЦИОННОГО УГЛЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РЕАКТОРЕ

В настоящей исследовании представлены результаты влияния параметров активной среды, образованной горячим воздухом на нагрев слабо реакционного угля месторождения «Майкубенск ЗВ» для извлечения дополнительного тепла. В ходе исследований определены закономерности выделения гигроскопической влаги и летучих

горючих веществ для получение дополнительной теплоты. Выявлены оптимальные температурные диапазоны поэтапного нагрева с учетом термического разрушения угля в температурном диапазоне от 20 °C до 600 °C, основные зоны процесса изотермического прогрева, линии распространения градиента влагосодержания и зависимость коэффициентов теплопереноса и массопереноса от температуры и влажности в течение процесса нагрева в горизонтальном реакторе. Полученные результаты свидетельствуют о возможности высвобождения летучих горючих газов при заданном поэтапном повышении температур. Режим нагрева включает этап предварительного нагрева с выделением гидроскопической влаги, в диапазоне температур от 20 °C до 105 °C, стадию изотермического прогрева в диапазоне температур от 105 °C до 400 °C и фазу беспламенного горения в диапазоне температур от 400 °C до 600 °C с повышением температуры выше заданного значения. Моделирование процесса проводилось в среде программного обеспечения Comsol Multiphysics для реальных условий нагрева слабореакционного угля.

Ключевые слова: нагрев угля, слабо реакционный уголь, летучие горючие газы, изотермический поэтапный прогрев, метод множителей Лагранжа, нестационарный процесс, метод Ньютона.

МРНТИ 44.31.35

***С. В. Галкин¹, Т.А. Сегеда²,
С. Л. Елистратов³, А. М. Акаев⁴**

*^{1,2,4}Восточно-Казахстанский технический университет
им. Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-
Каменогорск*

*³Новосибирский государственный технический
университет,
Российская Федерация, г. Новосибирск*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5254-5537>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2279-8570>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7803-2067>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9390-5703>

**e-mail: galkin.ektu@mail.ru*

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В АСПЕКТЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Повышение энергоэффективности является одним из ключевых способов обеспечения перехода техногенной деятельности человека к низкоуглеродной экономике. Тепловая изоляция является эффективной мерой по снижению потерь тепла, что, в свою очередь, способствует

сокращению выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов. В настоящее время проектирование тепловой изоляции теплотехнического оборудования в Казахстане осуществляется на основе методов, которые изложены в строительных нормах и правилах: МСН 4.02-03-2004 и СП РК 4.02-102-2012. В представленной статье указаны основные принципы применения действующих нормативных методов. В ходе анализа указанных регламентирующих документов было установлено, что для теплотрасс, проложенных под землей, ключевые параметры проектирования задаются суммарно для подающего и обратного трубопровода. В связи с данным обстоятельством не представляется возможным произвести расчет толщины тепловой изоляции для каждого из указанных трубопроводов по отдельности. Это является методологическим недостатком нормативных документов. Для оценки рациональности расчета тепловой изоляции на основе регламентирующих документов в статье рассмотрены конкретные примеры его применения и выполнен анализ на основе чистого приведенного эффекта инвестиций. Материалы, изложенные в данной статье, показывают, что проектирование тепловой изоляции по действующим нормативным документам не обеспечивает выявление оптимальных параметров теплоизоляционного слоя. В связи с этим возникает потребность в

необходимости разработки альтернативного подхода для решения данной проблемы.

Ключевые слова: нормы проектирования, тепловая изоляция, энергосбережение, тепловые потери, экономическая оценка.

Введение

Потребление энергии в мире неуклонно повышается из-за роста численности населения, урбанизации и улучшения уровня жизни. Растущая озабоченность мирового сообщества по поводу изменения климата привела к разработке Парижского соглашения в 2015 году [1]. Повышение энергоэффективности является одним из ключевых способов обеспечения перехода техногенной деятельности человека к низкоуглеродной экономике.

Авторы статьи [2] отмечают, что тепловая изоляция является важным элементом в различных системах, где рабочая жидкость находится при высоких температурах. На рынке доступны различные изоляционные материалы с различными свойствами и различной стоимости, что приводит к различной оптимальной толщине изоляционных материалов в конкретных случаях. Увеличение толщины тепловой изоляции значительно снижает потери энергии. Но изоляция является дорогостоящей, и поэтому важно знать толщину, которая должна обеспечивать потери тепла в допустимых пределах, чтобы избежать излишних затрат. Если единственной целью применения тепловой изоляции является достижение минимальных общих затрат в течение периода эксплуатации объекта, предложено

толщину теплоизоляционного слоя, которая обеспечивает это требование, называть экономической толщиной [3].

В исследовании [4] указывается, что теплопотери тепловых сетей достигают порядка 10...30 % от отпускаемой потребителям тепловой энергии. При этом тепловая изоляция является эффективной мерой по снижению потерь тепла и, соответственно, выбросов загрязняющих веществ.

В публикации [5] отмечается, что одним из основных недостатков систем централизованного теплоснабжения являются большие тепловые потери, которые могут быть уменьшены за счет оптимизации толщины изоляционного слоя и диаметра трубы.

Материалы и методы

В настоящее время проектирование тепловой изоляции теплотехнического оборудования в Казахстане осуществляется в соответствии с требованиями межгосударственных строительных норм МСН 4.02-03-2004 [6]. Основная значимость данного документа заключается в том, что он регламентирует численные значения норм плотности теплового потока от рассматриваемого теплотехнического оборудования применительно к условиям его эксплуатации. В качестве параметров, от которых зависит величина нормы плотности теплового потока, выделяются следующие факторы: время работы с дискретным разделением менее или более 5000 часов в год, место расположения объекта (на открытом воздухе, в помещении, подземная канальная прокладка, подземная бесканальная прокладка), величина условного диаметра трубопровода, температура

теплоносителя. В соответствии с указанными факторами численные значения норм плотности теплового потока следует выбирать по таблицам 2 - 12 [6] с учетом поправки для географического района размещения объекта по таблице 13 [6].

Необходимо отметить, что в соответствии с таблицами 8, 9, 11 и 12 [6], при подземной прокладке труб плотность теплового потока регламентируется на 1 м длины теплотрассы без разделения на подающий и обратный трубопровод. Кроме того, в МСН 4.02-03-2004 не представлена сама методика расчетов. Алгоритмы для определения толщины теплоизоляционного слоя изложены в международном документе СП 41-103-2000 [7]. Аналогичные алгоритмы расчетов представлены в более позднем нормативном документе республиканского уровня СП РК 4.02-102-2012 [8].

В качестве примера рассмотрим расчет технико-экономических показателей для трубопроводов подземной теплотрассы, которые проложены в непроходных каналах при следующих условиях: температурный график отпуска теплоносителя 150/70 °С; тепловая изоляция из пенополиуретана с коэффициентом теплопроводности 0,034 Вт/(м*К); условный диаметр трубопроводов 50, 500 и 1000 мм (номинальный наружный диаметр 57, 530 и 1020 мм соответственно); среднегодовая температура грунта на глубине заложения 9 °С; длительность эксплуатации трубопроводов в течение года 8 400 часов; глубина заложения теплотрассы до оси трубопровода 2 м; грунт является суглинком с коэффициентом теплопроводности

1,75 Вт/(м*К); географический район размещения - город Усть-Каменогорск.

В соответствии с примечанием к таблице 8 [6] при температурном графике 150/70 °С среднегодовая температура воды подающего трубопровода принимается равной 90 °С, а температура воды обратного трубопровода принимается равной 50 °С. При данных температурах нормы плотности теплового потока для рассматриваемой теплотрассы составляют: 30, 113 и 192 Вт/м для диаметров трубопроводов 50, 500 и 1000 мм соответственно (таблица 8 [6]). Поправка для географического района размещения объекта составляет 0,95 (по таблице 13 [6]). С учетом поправки расчетные значения норм плотности теплового потока составляют 28,5, 107 и 182 Вт/м для соответствующей номенклатуры диаметров.

На следующем этапе определяется толщина теплоизоляционного слоя расчетным методом на основании СП РК 4.02-102-2012 [8]. Данные расчеты базируются на теории теплообмена [9; 10], согласно которой удельные тепловые потери от трубопроводов q , Вт/м, в общем случае определяются с помощью выражения

$$q = \frac{\Delta t}{\sum_{i=1}^n R_i^L}$$

(1)

где Δt – разность температур между двумя рассматриваемыми точками, К;

$\sum_{i=1}^n R_i^L$ - сумма линейных термических сопротивлений всех составляющих элементов, находящихся между двумя рассматриваемыми точками, м·К/Вт.

Для случая подземной прокладки теплотрассы в непроходных каналах выражение (1) разворачивается в ряд формул (37) – (42) [8]. При этом поправка на дополнительные потери через крепежные элементы и опоры принимается по таблице 5 [8].

Так как согласно документу МСН 4.02-03-2004 задается общая норма плотности теплового потока от 1 м теплотрассы, то на основании пункта 5.3.2 б) [8] толщина тепловой изоляции для подающего и обратного трубопровода рассчитывается одинаковой.

Применяя изложенные выше алгоритмы, в программе Microsoft Excel были произведены расчеты тепловых потерь от 1 м теплотрассы для рассматриваемого примера в диапазоне изменения толщины тепловой изоляции трубопроводов от 0 до 100 мм с шагом 1 мм. При этом было установлено, что требуемые нормы плотности теплового потока по длине подземной теплотрассы обеспечиваются при толщине теплоизоляционного слоя, равном 45, 60 и 57 мм для диаметров трубопроводов 50, 500 и 1000 мм соответственно.

Для осуществления технико-экономической оценки результатов проектирования тепловой изоляции по действующим нормативным документам необходимо рассчитать численные значения показательного критерия экономической эффективности при различных вариациях толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов

тепловых сетей. На практике применяются различные критерии экономической эффективности, которые отличаются между собой информационной содержательностью [11]. Обзор этих критериев показал, что для рассматриваемых задач целесообразно применять чистый приведенный эффект инвестиций (NPV).

На основе данных по снижению тепловых потерь за счет применения тепловой изоляции можно рассчитать величину NPV для 1 м теплотрассы, тенге/м, по выражению

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} - IC, \quad (2)$$

где P_i – денежная экономия за счет снижения тепловых потерь для 1 м теплотрассы за год i , тенге/м;

n – количество лет получения денежной экономии;

i – текущий год получения экономии;

r – коэффициент дисконтирования;

IC – капитальные затраты на тепловую изоляцию 1 м теплотрассы, тенге/м.

Чтобы воспользоваться выражением (2), необходимо расширить исходные данные по входящим в него параметрам. Количество лет получения денежной экономии принимается равным сроку службы тепловой изоляции, что составляет 25 лет. Ежегодная величина денежной экономии определяется как произведение годового количества сэкономленной тепловой энергии на ее стоимость ($1,01 * 10^{-6}$ тенге/Дж). При этом для каждого года необходимо учитывать увеличение тарифа на тепловую энергию в виде инфляционной поправки (для

рассматриваемого примера принято 8 %). Коэффициент дисконтирования принимается равным 0,1, что соответствует 10 % ежегодной прибыли от капитальных затрат на тепловую изоляцию. Капитальные затраты на тепловую изоляцию 1 м теплотрассы определяются по формуле

$$IC = Z_v * \pi * [\delta_n * (d_n + \delta_n) + \delta_o * (d_o + \delta_o)], \quad (3)$$

где Z_v - удельные капитальные затраты на тепловую изоляцию, 128 000 тенге/м³;

$$\pi = 3,1416;$$

δ_n - толщина тепловой изоляции на подающем трубопроводе, м;

δ_o - толщина тепловой изоляции на обратном трубопроводе, м;

d_n - наружный диаметр подающего трубопровода, м;

d_o - наружный диаметр обратного трубопровода, м.

Результаты и обсуждение

В соответствии с описанной выше методологией были произведены расчеты NPV для тепловой изоляции участка теплотрассы длиной 1 м при изменении толщины теплоизоляционных слоев обратного и подающего трубопроводов в вариациях соотношениях между собой от 0 до 1, в диапазоне значений от 0 до 100 мм. Многовариантные расчеты показали, что оптимальное соотношение толщин теплоизоляционных слоев обратного и подающего трубопроводов составляют 0,73, 0,66 и 0,61 для диаметров 50, 500 и 1000 мм соответственно. Необходимо отметить, что оптимальные

значения данных соотношений носят частный характер в рамках рассматриваемого примера, так как зависят от конкретных исходных данных. Результаты выполненных расчетов сведены в таблицу 1, а также графически отображены на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов тепловой изоляции

Толщина теплоизоляционного слоя трубопроводов		Удельные тепловые потери от трубопроводов			Изменение тепловых потерь*, %	N P V , те н ге
подающий, мм	обратный, мм	подающий, Вт/м	обратный, Вт/м	трасса, Вт/м		
1	2	3	4		6	
Условный диаметр трубопроводов 50 мм						
0	0	1 20,0	2 5,4	45, 4	4 09	
40	29	2 0,7	1 1,6	2,2	3 1	09 83

64	47	1 6,0	9 ,1	5,1	- 12	24 98
80	58	1 4,3	8 ,1	2,4	- 21	19 50
45 (нормативное значение)		1 9,4	9 ,1	8,5	0	19 46
Условный диаметр трубопроводов 500 мм						
0	0	6 11	- 232	78	2 55	
60	39	7 3	4 1	14	7	25 41 6
80	53	6 1	3 6	7	- 9	26 39 2
100	66	5 2	3 1	3	- 22	24 69 0
60 (нормативное значение)		7 6	3 0	07	0	24 28 5
Условный диаметр трубопроводов 1000 мм						

0	0	062 ¹	560 ⁻	02	76 ¹	
60	37	26 ¹	6 ⁶	92	6	32 61 3
76	46	07¹	0⁶	67	8⁻	34 79 4
100	61	8 ⁸	3 ⁵	41	22 ⁻	31 50 3
57 (нормативное значение)		35 ¹	7 ⁴	82	0	30 73 6
* Изменение тепловых потерь указано в процентах относительно нормативного значения.						

На диаграмме рисунка 1 представлена функциональная зависимость $NPV=f(\delta_n, \delta_o)$ для рассмотренного примера подземной теплотрассы. По оси абсцисс показаны значения δ_n . При этом величины δ_o находятся в оптимальных соотношениях с δ_n , значения которых для соответствующих диаметров были указаны выше.

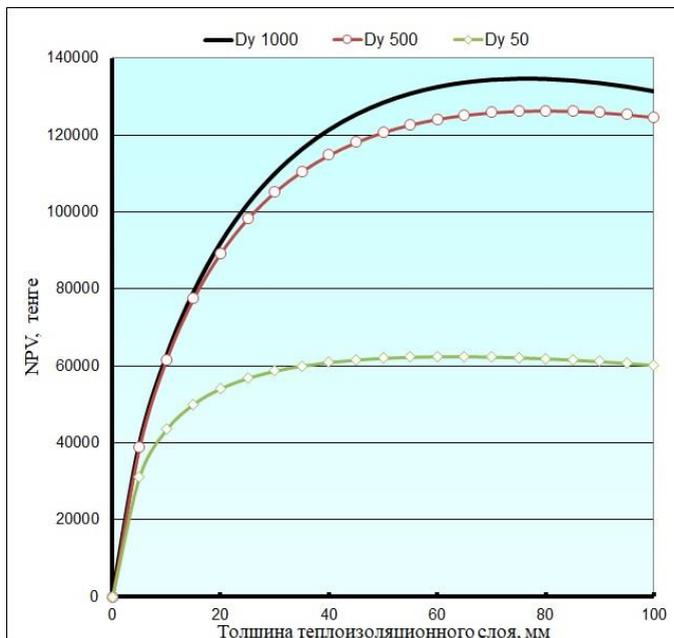


Рисунок 1 – Значение NPV в зависимости от толщины тепловой изоляции

В таблице 1, данные по различной толщине тепловой изоляции представлены выборочно в сокращенном виде, но достаточном для понимания тенденции изменения результатов расчетов. Поскольку в качестве критерия экономической эффективности тепловой изоляции нами был принят параметр NPV, то его максимальное значение указывает на выявление оптимальной толщины теплоизоляционного слоя. Строки таблицы 1 с максимальными значениями NPV по каждому сортаменту рассмотренных трубопроводов выделены жирным шрифтом.

Анализируя численные данные таблицы 1, можно заметить, что для тепловой изоляции трубопроводов диаметром 50 мм максимальное значение NPV достигается при толщине слоя 64 и 47 мм для подающего и обратного трубопровода соответственно. При этом удельные тепловые потери сокращаются до 25,1 Вт/м. В то время как нормативные документы предписывают применять тепловую изоляцию толщиной 45 мм для обоих трубопроводов с тепловыми потерями 28,5 Вт/м. Технико-экономические показатели, представленные в таблице 1, показывают, что оптимальная толщина тепловой изоляции позволяет снизить величину тепловых потерь в сравнении с нормативной толщиной на 12 %. Аналогичная ситуация наблюдается для трубопроводов диаметром 500 и 1000 мм в виде снижения тепловых потерь на 9 и 8 % соответственно.

Интересно отметить то обстоятельство, что при отсутствии тепловой изоляции наблюдаются отрицательное значение тепловых потерь у обратного трубопровода при диаметрах 500 и 1000 мм, то есть он нагревается от подающего трубопровода. Это объясняется тем, что трубопроводы находятся в замкнутом пространстве непроходного канала. Такая ситуация возможна, когда температура воздуха внутри канала превышает температуру теплоносителя в обратном трубопроводе.

Выводы

Материалы, изложенные в данной статье, показывают, что проектирование тепловой изоляции тепловых сетей по действующим нормативным

документам МСН 4.02-03-2004 и СП РК 4.02-102-2012 не обеспечивает выявление оптимальной толщины теплоизоляционного слоя. Рассмотренный пример наглядно продемонстрировал, что при рациональном подходе к решению данного вопроса дополнительное снижение тепловых потерь может составлять 8...12 %. В свою очередь, повышение энергоэффективности в тепловых сетях приводит к снижению расхода ископаемого топлива на предприятиях теплоэнергетики, сокращая тем самым эмиссии загрязняющих веществ и парниковых газов в окружающую среду и способствуя становлению общества на путь устойчивого развития.

Обзор современного состояния проблемы проектирования тепловой изоляции указывает на то, что в настоящее время исследователи значительное внимание уделяют вопросам повышения энергоэффективности и энергосбережения, а также экологическим аспектам в отношении загрязнения окружающей среды и противодействия изменению климата. Поэтому необходимо разработать более рациональную методику проектирования тепловой изоляции, которая будет объективно учитывать все значимые факторы, так как действующие нормативные документы не позволяют обеспечить максимальную энергоэффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 О ратификации Парижского соглашения. Закон Республики Казахстан от 04.11.2016 года № 20-VI [Текст].

2 **Sankar Suresh, Mahima Sundar, Bhaskara Rao Lokavarapu.** Optimum insulation thickness in process pipelines [Electronic resource]: // Materials Today: Proceedings. - 2023. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.200> (Date of access 10.05.2024).

3 **A. Bahadori, Hari B. Vuthaluru.** A simple correlation for estimation of economic thickness of thermal insulation for process piping and equipment [Text] // Applied Thermal Engineering. - 2010. - Volume 30. - Issues 2–3. - Pages 254-259.

4 **Ruihuai Wang, Pengfei Jie, Delai Wang, Fating Li, Chunhua Liu.** Optimization of insulation thickness of double buried district heating pipes using the Eco-indicator method [Text] // Journal of Building Engineering. - 2021. - Volume 41, 102393.

5 **Kailun Chen, Jiayi Hu, Libin Yu, Menglian Zheng, Shien Sun, Dong He and Junguang Lin.** A Data-driven Model of Pipe Diameter and Insulation Thickness Optimization for District Heating Systems [Electronic resource] // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2166. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2166/1/012046> (Date of access 10.05.2024)

6 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Межгосударственные строительные нормы [Текст]: МСН 4.02-03-2004. – Введ. 01.11.05.

7 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Свод правил по проектированию и строительству [Текст]: СП 41-103-2000. – Введ. 02.12.99.

8 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Свод правил Республики Казахстан [Текст]: СП РК 4.02-102-2012. – Введ. 01.07.15.

9 Теплотехника: учебник для ВУЗов / под общ. ред. А.М. Архарова, В. Н. Афанасьева [Текст]. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, - 2017. - 877 с.

10 **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача: учебник для ВУЗов [Текст]. – М.: Энергия, - 1975. – 488 с.

11 **Аткинсон Э.А., Банкер Р.Д., Каплан Р.С., Юнг М.С.** Управленческий учет [Текст]. - СПб.: ООО «Диалектика», 2019. - 880 с.

REFERENCES

1 О ратификации Паризского соглашения. Закон Республики Казахстан от 04.11.2016 года № 20-VI [On the ratification of the Paris Agreement. Law of the Republic of Kazakhstan dated November 4, 2016 No. 20-VI] [Text].

2 **Sankar Suresh, Mahima Sundar, Bhaskara Rao Lokavarapu.** Optimum insulation thickness in process pipelines [Electronic resource]: // Materials Today: Proceedings. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.200> (Date of access 10.05.2024).

3 **A. Bahadori, Hari B. Vuthaluru.** A simple correlation for estimation of economic thickness of thermal insulation for process piping and equipment [Text] // Applied Thermal Engineering. - 2010. - Volume 30. – Issues 2–3. – Pages 254-259.

4 **Ruihuai Wang, Pengfei Jie, Delai Wang, Fating Li, Chunhua Liu.** Optimization of insulation thickness of double buried district heating pipes using the Eco-indicator method [Text] // Journal of Building Engineering. – 2021. - Volume 41, 102393.

5 **Kailun Chen, Jiayi Hu, Libin Yu, Menglian Zheng, Shien Sun, Dong He and Janguang Lin.** A Data-driven Model of Pipe Diameter and Insulation Thickness Optimization for District Heating Systems [Electronic resource] // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2166. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2166/1/012046> (Date of access 10.05.2024)

6 Teplovaya izolyaciya oborudovaniya i truboprovodov. Mezhgosudarstvennyye stroitel'nye normy [Text]: MSN 4.02-03-2004. [Thermal insulation of equipment and pipelines. Interstate building codes: IBC 4.02-03-2004].

7 Proektirovanie teplovoj izolyacii oborudovaniya i truboprovodov. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu [Text]: SP 41-103-2000 [Design of thermal insulation of equipment and pipelines. Code of practice for design and construction: CP 41-103-2000].

8 Proektirovanie teplovoj izolyacii oborudovaniya i truboprovodov. Svod pravil Respubliki Kazahstan [Text]: SP RK 4.02-102-2012 [Design of thermal insulation of equipment and pipelines. Code of practice of the Republic of Kazakhstan: CP RK 4.02-102-2012].

9 Teplotekhnika: uchebnik dlya VUZov / pod obshch. red. A.M. Arharova, V.N. Afanas'eva [Thermal engineering: textbook for universities] [Text]. – M.: Publishing house of BMSTU, - 2017. – 877 p.

10 **Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S.** Teploperedacha: uchebnik dlya VUZov [Heat transfer: textbook for universities] [Text]. -M.: Energiya, - 1975. - 488 p.

11 **Atkinson E.A., Banker R.D., Kaplan R.S., YUng M.S.** Upravlencheskiy uchyot [Management accounting] [Text]. - SPb.: ООО «Dialektika», 2019. - 880 p.

*С. В. Галкин¹, Т. А. Сегеда², С. Л. Елистратов³, А. М. Акаев⁴

^{1,2,4}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.

³Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы, Новосибирск қ.

ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ АСПЕКТІСІНДЕ ЖЫЛУ ЖЕЛІЛЕРІ ҚҰБЫРЛАРЫНЫҢ ЖЫЛУ ОҚШАУЛАУЫНЫҢ НОРМАТИВТІК ЕСЕБІН ТАЛДАУ

Энергия тиімділігін арттыру томен көміртекті экономикаға көшудің ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Жылуды оқшаулау – жылу шығынын азайтудың тиімді шарасы болып табылады. Бұл өз кезегінде ластаушы заттар мен парниктік газдардың шығарындыларын азайтуға көмектеседі. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында жылу оқшаулауды жобалау МҚС 4.02-03-2004 және ҚР

ЕЖ 4.02-102-2012 нормативтік құжаттары негізінде жүзеге асырылады. Ұсынылған мақалада осы құжаттарды қолданудың негізгі принциптері көрсетілген. Арнасыз және өтпейтін арналарға тартылған жерасты жылу магистральдары үшін жылу ағынының тығыздығының стандартты мәндері жеткізу және қайтару құбырлары үшін барлығы көрсетілген. Сондықтан жылу оқшаулаудың қалыңдығын әрбір құбыр үшін жекелеп анықтау мүмкін емес. Бұл нормативтік құжаттардың әдістемелік кемшілігі. Жылу оқшаулауды жобалаудың нормативтік әдісінің ұтымдылығын бағалау үшін оны қолданудың нақты мысалдары қарастырылады және инвестицияның таза келтірілген құнына негізделген талдау жүргізіледі. Осы мақалада ұсынылған материалдар қолданыстағы нормативтік құжаттарға сәйкес жылу оқшаулауды жобалау жылу оқшаулау қабатының оңтайлы параметрлерін анықтауды қамтамасыз етпейтінін көрсетеді. Осыған байланысты бұл мәселені шешудің баламалы тәсілін әзірлеу қажеттілігі туындады.

Кілттік сөздер: жобалау стандарттары, жылу оқшаулау, энергияны үнемдеу, жылу шығындары, экономикалық бағалау.

*S. V. Galkin¹, T. A. Segeda², S. L. Elistratov³, A. M. Akayev⁴
^{1,2,4}D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk
³Novosibirsk State Technical University, Russian Federation,
Novosibirsk

**ANALYSIS OF THE STANDARD CALCULATION OF
THERMAL INSULATION OF PIPELINES OF
HEATING NETWORKS IN TERMS OF INCREASING
ENERGY EFFICIENCY**

Increasing energy efficiency is one of the most effective ways to transition to a low-carbon economy. Thermal insulation is an effective measure to reduce heat loss. Which in turn helps reduce emissions of pollutants and greenhouse gases. Currently, in the Republic of Kazakhstan, the design of thermal insulation is carried out on the basis of normative documents IBC 4.02-03-2004 and SR RK 4.02-102-2012. The presented article indicates the basic principles of application of these documents. It is noted that for underground heating mains laid without channels and in non-passable channels, the standard values of heat flux density are indicated in total for the supply and return pipelines. Therefore, it is not possible to determine the thickness of thermal insulation separately for each pipeline. This is a methodological shortcoming of the normative documents. To assess the rationality of the normative method for designing thermal insulation, specific examples of its application are considered and an analysis is performed based on the net present value of investment. The materials presented in this article show that the design of thermal insulation according to the current normative documents does not ensure the identification of optimal

parameters of the thermal insulation layer. In this regard, there is a need to develop an alternative approach to solve this problem.

Key words: design standards, thermal insulation, energy saving, heat losses, economic assessment.

МРНТИ 28.23.37

**Л. Н. Есмаханова¹, *Б. С. Мыркалыков²,
Г. С. Балгабаева³, А. Т. Абенова⁴,
Ә. Б. Сағындық⁵**

*^{1,2}Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати,
Республика Казахстан, г. Тараз*

*^{3,4,5}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г.
Павлодар*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7224-4168>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

*e-mail: laura060780@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассматриваются основные проблемы, связанные с работой сканеров пламени, помимо возможности загрязнения оптической системы и связанного с этим снижения мощности, поступающей на фотоприемник, являются помехи от соседних горелок и нагретых стенок камеры сгорания. В настоящее время используют информацию, связанную с пульсацией (мерцанием) пламени, что требует анализа переменной

составляющей сигнала, получаемого с фотодетектора. Расширенный анализ сигнала фотодетектора позволяет использовать сканеры пламени для диагностики процесса горения, не ограничиваясь только обнаружением пропадания пламени, но и выявлять изменения в ходе процесса горения в пределах одной горелки, особенно из-за выбросов вредных веществ в атмосферу. Достижения современной вычислительной техники позволяют достаточно точно моделировать явления, происходящие при горении. В системах диагностики процессов нейронные сети могут использоваться для решения задач моделирования и классификации. Статья посвящена методам диагностирования процесса сгорания топлива в газовых турбинах и пылегазовых котлах. Обсуждаются проблемы, возникающие при диагностике горения этих топлив, и предложения по их решению. Для полного представления задач, стоящих перед диагностикой, рассмотрены оптические методы измерения параметров этих процессов, методы анализа измерений и характеристик пламени, что позволяет использовать самую быструю информацию, характеризующую процесс горения.

Ключевые слова: пламя, фотодетектор, топливо, диагностика, процесс горения, оптический элемент.

Введение

Сжигание ископаемого топлива является важнейшим источником энергии, используемым человеком. Уголь по-прежнему является ключевым глобальным энергетическим сырьем, и, по оценкам, в течение примерно 50 лет он продолжит занимать доминирующее положение.

До недавнего времени термин «диагностика», происходящий от греческого языка (греч. *diagnostikos* - способный распознавать, *diagnosis* - различение, диагноз, решение), использовался только в медицине и означал диагностику заболевания. Со временем, по мере усложнения используемых технических средств и увеличения необходимости обеспечения их надежной работы, термин «диагностика» распространился и на технические устройства [1, с. 11].

Диагностика промышленных процессов занимается распознаванием изменений состояний этих процессов, которые можно определить, как последовательность целенаправленных действий, выполняемых в заданное время определенным набором машин и устройств с конкретными доступными ресурсами [1, с. 11].

Материалы и методы

Диагностика производственного процесса производится на основе анализа его состояния. Состояние технологического процесса определяется как совокупность оценок отклонений рассматриваемого состояния от состояния, считающегося эталонным [1, с. 15].

Диагностический процесс состоит из трех этапов [2, сс. 2395-2407]:

- обнаружение,
- местоположение,
- выявление повреждений.

Чаще всего диагностический процесс ограничивается первыми двумя этапами. На этапе обнаружения в результате обработки переменных процесса выявляются симптомы повреждения. На их основе на этапе локализации указываются имеющиеся повреждения. Идентификация ущерба включает определение его размера и возможной изменчивости во времени. Иногда вместо фазы локализации неисправности возникает фаза распознавания состояния объекта или класса состояний (рис. 1).

Существует множество способов проведения диагностического процесса. Это может осуществляться с использованием математической модели, которая может быть аналитической, нейронной, нечеткой или без модели процесса. Схема диагностики процесса, включающая этап обнаружения и локализации с использованием модели процесса, представлена на рис. 2а.

Часто модель процесса недостаточно точна или слишком сложна. Затем используются диагностика и обнаружение без использования модели, как показано на рис. 2б. В таком случае используются методы контроля ограничений или контроля взаимосвязей между переменными процесса [2, сс. 2395-2407].

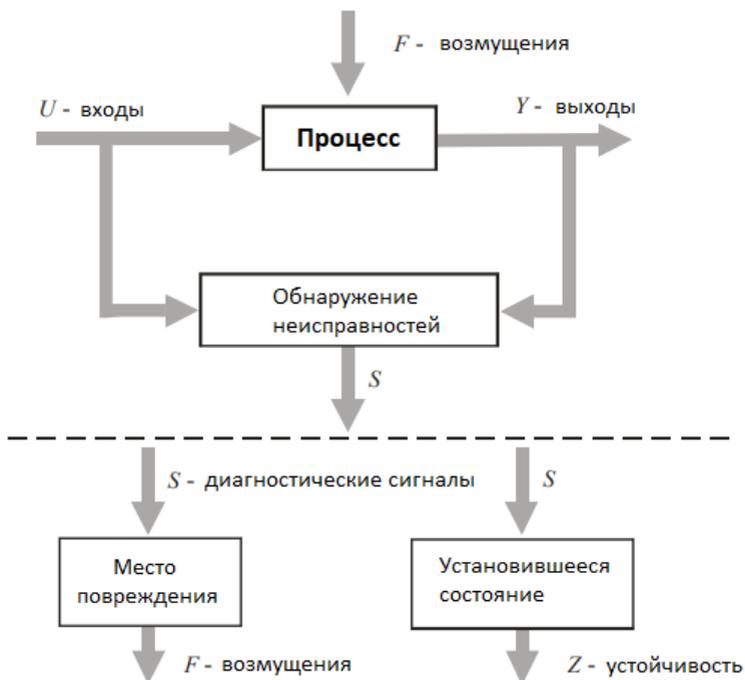


Рисунок 1 – Схема технологической диагностики, включающая этап обнаружения повреждений и этап определения местоположения или распознавания состояния объекта

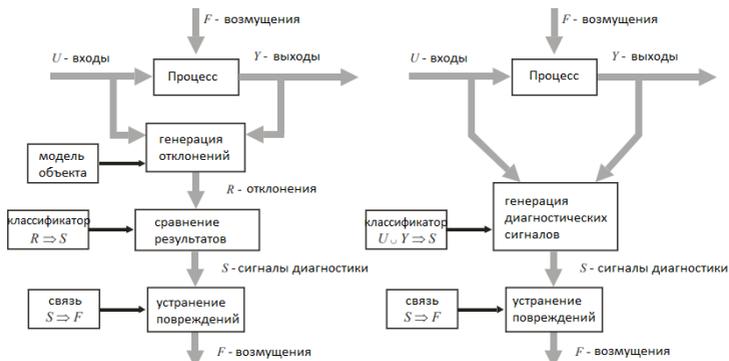


Рисунок 2 – Схема диагностики процесса: а) с использованием модели процесса, б) без использования модели процесса

Другой метод диагностики процесса использует непрерывные переменные процесса, которые состоят из входных и выходных сигналов. В таком случае этапы обнаружения и локализации повреждений объединяются, а классификация состояния объекта часто производится с помощью нейронных сетей.

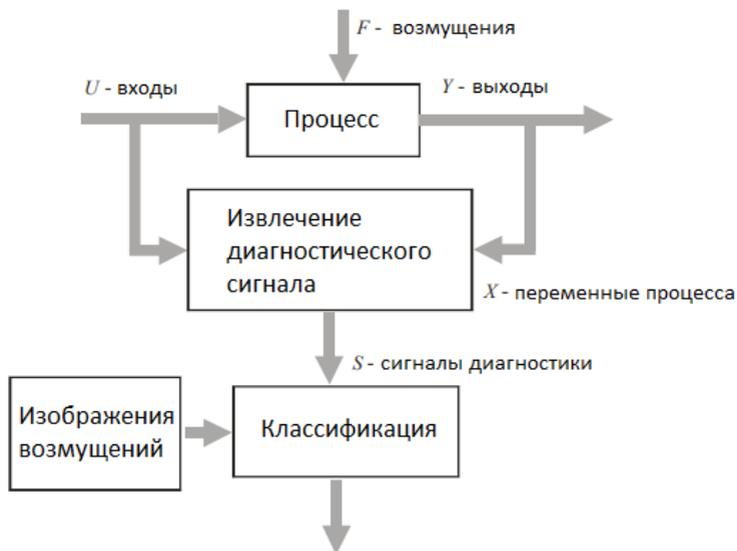


Рисунок 3 – Схема диагностики процесса, понимаемой как распознавание образов

Диагностику процесса можно также рассматривать как распознавание образов. В таком случае на этапе обнаружения повреждения извлекаются симптомы, а на этапе определения места повреждения классифицируется повреждение или состояние объекта. Схема диагностики процесса с этой точки зрения представлена на рис. 3.

В промышленных условиях качество процесса сжигания пылеугольного топлива оценивается операторами субъективно по изображению пламени, видимому в имеющейся смотровой яме. Используемые системы мониторинга в основном предназначены для обнаружения состояния пропадания пламени, которое

может привести к неконтролируемому взрыву угольной пыли [3, сс. 133-139].

Следует подчеркнуть, что скорости топливной смеси на выходе из горелки настолько велики, что ее горение происходит в турбулентном пламени. В настоящее время не существует мер по оценке турбулентного пламени, возникающего при горении угольной пыли, на основании которых можно было бы четко и объективно оценить качество процесса горения. Поэтому представляется необходимым определить диагностические сигналы, которые позволили бы объективно контролировать этот процесс.

Относительно новой проблемой горения является использование так называемого альтернативные виды топлива – биомасса как добавка к угольной пыли или газу брожения, или синтез-газу для сжигания в газовых турбинах [4, сс. 23 - 34]. Использование этих топлив существенно модифицирует процесс сгорания в промышленном оборудовании, а также эти топлива характеризуются высокой изменчивостью состава [5, сс. 77-89]. Разработанные к настоящему времени методы диагностики «традиционных» топлив должны быть существенно модифицированы или даже не могут быть использованы, отсюда необходимость разработки новых, отвечающих требованиям современной энергетики.

Коэффициент избытка топлива — это отношение фактического количества (массы) воздуха, в котором сгорает топливо, к количеству, необходимому для полного сгорания топлива (стехиометрическому количеству). Обычно его обозначают как λ :

$$\lambda = \frac{L_r}{L_t}$$

где L_r - фактическая масса сухого воздуха, в которой сгорает топливо, а L_t - теоретическая потребность в сухом воздухе.

Стехиометрическое (теоретическое) количество воздуха можно рассчитать, анализируя уравнения химических реакций, происходящих при сгорании конкретного топлива. Если воздуха, используемого для горения, больше, чем стехиометрическое количество, коэффициент избытка воздуха λ больше 1 (сгорание в обедненных условиях), если меньше, то $\lambda < 1$ (сгорание в богатых условиях).

Использование информации, содержащейся в излучении пламени, является одним из способов оценки состояния процесса горения. На практике важно, чтобы такую оценку можно было провести максимально простым способом, т.е. с использованием минимально возможного количества диагностических сигналов.

Для этого анализировались оптические сигналы, исходящие из отдельных зон пламени. Индикация наиболее чувствительной зоны пламени к изменению входных параметров горелки осуществлялась на основе анализа главных компонент. Они были зафиксированы в промышленных условиях (котел АП-1650), при двух различных положениях головки относительно пламени, при работе с принудительным изменением основных параметров работы горелки, таких как:

- изменения потока вторичного воздуха,

– изменения наклона горелочного устройства [6].

Система контроля пламени, структурная схема которой представлена на 4-рисунке, включает в себя следующие элементы:

- измерительная головка (расположена внутри камеры сгорания),
- оптоволоконный жгут,
- фотоприемники,
- система обработки сигналов.



Рисунок 4 – Блок-схема системы контроля пламени

Важнейшим элементом системы, от которого во многом зависит ее корректная работа, является волоконно-оптическая измерительная головка, передающая излучение, испускаемое пламенем, на детекторы, расположенные вне камеры сгорания (рис. 5). Передняя часть головки расположена внутри камеры сгорания, рядом с работающей пылевой горелкой. Он подвергается воздействию температур выше 400°C , высокой запыленности и вибрации. В головку подается сжатый воздух, который охлаждает ее и предотвращает загрязнение оптических элементов. При правильно подобранной форме торца головки это позволяет обеспечить длительную эксплуатацию (4-12 недель) без необходимости механической чистки. Благодаря соответствующему расположению оптических волокон возможна избирательная передача излучения от

определенных участков пламени. Оптическая связь между измерительной головкой и пламенем учитывает объемный характер источника излучения, которым является пламя [6].



Рисунок 5 – Волоконно-оптическая измерительная головка

Волоконно-оптический пучок позволяет размещать фотодетекторы и их усилители при относительно низкой температуре с учетом условий, преобладающих вблизи работающей горелки. Кроме того, использование оптоволоконна облегчает установку системы мониторинга на энергетическом котле, если доступ к месту расположения зонда затруднен. Поскольку длина используемых оптических волокон порядка нескольких метров, в оптическом спектре пылевого пламени вносимое оптическим волокном затухание незначительно. Из-за низкой эффективности связи с оптическими волокнами в системах мониторинга используют толсто сердцевинные

оптические волокна PCS или, из-за возможности работы при более высоких температурах, оптические волокна HCS [7, сс. 136-139]. Второй причиной использования волоконной оптики PCS или HCS является сильная, необратимая деградация легированных волокон (в которых соответствующая форма профиля показателя преломления достигается за счет легирования, например, германием) под воздействием УФ-излучения [8, сс. 114 – 117].

Тип используемого фотодетектора определяется типом сжигаемого топлива. В случае обнаружения пламени угля наиболее полезны детекторы, работающие в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне. Полупроводниковыми материалами, используемыми в упомянутых фотодетекторах, обычно являются Si, Ge, InGaAs и так называемые модифицированный кремний, характеризующийся лучшей квантовой эффективностью в УФ-диапазоне [8, сс. 114 – 117].

В системе обработки сигнал с фотодетектора усиливается. Выходные сигналы, соответствующие отдельным оптическим каналам, предоставляются в стандарте $4 \div 20$ мА [8, сс. 114 – 117].

В производственной практике важно, что оценка состояния процесса горения может осуществляться в реальном времени при обычно весьма ограниченных вычислительных возможностях промышленных систем измерения и управления. Поэтому такую оценку следует проводить с использованием как можно меньшего количества диагностических сигналов. Структура пламени неоднородна, поэтому необходимо определить

его участок, наиболее чувствительный к изменению рабочей точки горелки [9, сс. 3084-3097].

Чтобы информация о состоянии устройства была полезной, она должна быть в форме, понятной оператору или системе автоматического контроля и диагностики. Анализируется случай, когда неправильная работа горелки вызвана слишком высоким или слишком низким коэффициентом избытка воздуха, поэтому диагностика будет заключаться в выявлении трех состояний.

Существует множество методов классификации, которые можно использовать в этом случае, начиная от метода Фишера (LDA) и заканчивая очень популярным в настоящее время методом опорных векторов (SVM) или нейронными сетями. Возможности диагностики процесса горения будут показаны на примере нечеткой нейронной сети. Этот метод обычно дает лучшие результаты, чем SVM и классические нейронные сети, а за счет удаления последнего слоя сети (заточки) можно получить нечеткую информацию, предупреждающую о симптомах неправильной работы (или сбоя) [10, сс. 241- 243].

Для объединенных обучающих и тестовых наборов была достигнута 100% правильная классификация. Однако, когда выходной сигнал остается нечетким, неопределенность видна, особенно в области малой мощности (рис. 6). Скорее всего, это связано с меньшим уровнем оптического сигнала. Попытки дальнейшего увеличения количества правил не привели к существенному изменению неопределенности .

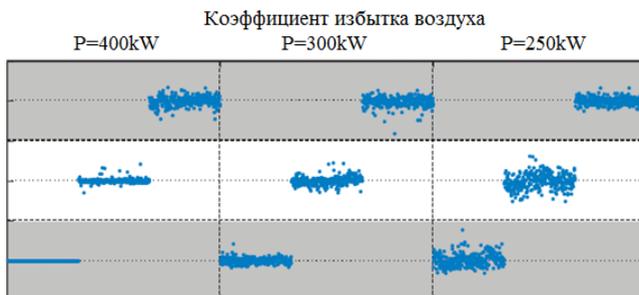


Рисунок 6 – Нечеткая классификация коэффициента избытка воздуха для различных мощностей горелок

Отсюда следует, что описанный метод пригоден для использования при диагностике процесса горения угольной пыли, предполагающий классификацию по корректности коэффициента избытка воздуха. Удалось обнаружить отклонение коэффициента избытка воздуха λ на $\pm 0,1$ от правильного значения. Рисунок 6 также показывает, что можно обнаружить меньшее отклонение – увеличивая чувствительность метода.

Результаты и обсуждения

Испытания на горение пылевидного топлива (угля, смеси угля и биомассы) проводились на лабораторной станции в определенной последовательности, напоминающей ту, которая используется при растопке энергетического котла.

На основании даже такого сокращенного описания можно сделать вывод, что горение как газообразного топлива, так и угольной пыли - очень сложный процесс. Достижения современной вычислительной техники

позволяют достаточно точно моделировать явления, происходящие при горении.

Сигналы оптических датчиков содержат много информации, имеющей очень небольшую задержку по сравнению с входными сигналами, но их интерпретация очень сложна.

В системах диагностики процессов нейронные сети могут использоваться для решения задач моделирования и классификации [5]. Среди множества разработанных архитектур наиболее известными являются однонаправленные многоуровневые сети. Большинство типов нейронных сетей можно определить, как систему простых обрабатывающих элементов - нейронов, связанных друг с другом в сети через набор (синаптических) весов. Функция, выполняемая нейронной сетью, определяется ее архитектурой, весовыми значениями и функцией, выполняемой нейронами.

Угольная пыль, подаваемая в горелку, воспламеняется от работающей масляной горелки. После того, как температура в камере сгорания повысится до значения, достаточного для устойчивого воспламенения угольной пыли, масляная горелка отключается – с этого момента работает только пылевая горелка. Затем обороты питателя увеличивают до тех пор, пока они не достигнут требуемых условиями эксперимента. Выход твердого топлива не пропорционален скорости вращения питателя, поэтому рассчитывается исходя из потерь массы топлива из бункера. Процедура тушения станции предполагает дожигание остатка топлива в баке при наличии мазутного пламени. После полного удаления твердого топлива из

бака и пылепроводов масляная горелка отключается. До тех пор, пока температура в камере не опустится ниже значения, позволяющего полностью отключить оборудование, камеру проветривают вторичным воздухом.

Были испытаны два вида топлива: чистый уголь и смесь угля с добавлением биомассы. Смесь была приготовлена до проведения испытаний на горение. Испытания проводились при 10%, 20% и 30% содержании биомассы в смеси для двух видов биомассы: измельченной соломы и измельченных древесных опилок. Испытания включали сжигание обоих видов топлива при трех уровнях тепловой нагрузки камеры для трех случаев избытка воздуха. Избыток воздуха подбирался таким образом, чтобы один из случаев отражал нормальные условия горения в вихревой горелке с низким уровнем выбросов ($\lambda=0,77$), а два других отражали более высокие и более низкие значения.

Выводы

Благодаря развитию вычислительных технологий появляется возможность все более точно моделировать процесс горения с помощью метода CFD. Однако для этого требуются очень большие вычислительные мощности, недоступные промышленным системам. Процесс горения, особенно при его проведении в промышленных условиях, относится к группе технологических процессов высокой степени сложности. Это связано как с характером явлений, сопровождающих

этот процесс, так и с тяжелыми условиями эксплуатации диагностического оборудования, подвергающегося воздействию высоких температур, пыли и вибрации. Проблема тяжелых условий труда становится особенно актуальной при проведении диагностики процессов оптическими методами.

Представленные в статье результаты анализа и исследований не исчерпывают всех проблем, связанных с диагностикой пламени оптическими методами. Требуют совершенствования как метод выделения особенностей сигнала интенсивности пламени, так и метод классификации рабочих состояний. Представленное исследование было направлено, прежде всего, на проверку правильности предложенных методов диагностики. Необходимо провести дальнейшие исследования для повышения точности и чувствительности этих методов. Возможно также, что технологии сжигания, которые будут использоваться в будущем, не потребуют совершенно новых методов диагностики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Есмаханова, Л. Н. Управление процессом сжигания пылевидного угля с использованием передовых технологий: монография [Текст] – Тараз: изд. Тараз университеті, 2019. – 100 с.

2 Yesmakhanova, L. N., Tulenbayev, M. S., Chernyavskaya, N. P., Beglerova, S. T., Kabanbayev, A. B., Abildayev, A. A., Maussymbayeva, A. D. Simulating the coal dust combustion process with the use of the real process

parameters [Text]. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – 16(22). – P. 2395-2407.

3 **Wojcik, W., Smolarz, A., Kotyra, A., Komada, P.** Optimization of optical fiber probe for flame monitoring by application of finite element method [Text] // Proceedings of SPIE. – 2000. – №4239. – P. 133-139.

4 **Chmielniak, T.** Szanse i bariery w rozwoju technologii energetycznych paliw kopalnych [Text] // Polityka Energetyczna. – 2011. – №14(2). – P. 23 - 34.

5 **Wilk, R.** Energetyka a ochrona środowiska [Text] // W Materiały konferencyjne «Spalanie węgla '99». Wrocław. – 1999. – S. 77-89.

6 Costella, J. The Climategate Emails [Electronic resource]. – URL: https://coherence.com.au/curlew/wp-content/uploads/2018/04/climategate_analysis.pdf [accessed 18/06/2024].

7 **Wójcik, W., Gromaszek, K., Kotyra, A., Jagiello, Z.** Opracowanie modeli dla kompleksowego systemu sterowania procesem spalania w kotle energetycznym [Text] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2010. – №10. – P. 136-139.

8 **Pavlov, S. V., Barylo, A. S., Kozlovska, T. I., Stasenko, V. A., Azarhov, O. Yu., Kravchuk, P. O., Wójcik, W., Orakbayev, Y., Yesmakhanova, L.** Analysis of microcirculatory disorders in inflammatory processes in the maxillofacial region on based of optoelectronic methods [Text] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – №93(5). – P. 114 – 117.

9 **García-Armingol, T., Ballester, J., Smolarz, A.** Chemiluminescence – based sensing of flame stoichiometry:

Influence of the measurement method [Text] // Measurement. – 2013. – №46(9). – P. 3084-3097.

10 **Wójcik, W., Kotyra, A., Golec, T., Gromaszek K.** Monitorowanie procesu spalania za pomocą kamery [Text] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2008. – №3. – P. 241- 243.

REFERENCES

1 **Yesmakhanova, L. N.** Ozyq tehnologialardy qoldana otyryp, shań kómirin jaǵý prosesin basqarý: monografiya [Control of the pulverized coal combustion process using advanced technologies: monograph.] [Text]. – Taraz: : Izd-vo Taraz University, 2019. – 100 p.

2 **Yesmakhanova, L. N., Tulenbayev, M. S., Chernyavskaya, N. P., Beglerova, S. T., Kabanbayev, A. B., Abildayev, A. A., Maussymbayeva, A. D.** Simulating the coal dust combustion process with the use of the real process parameters [Text]. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – 16(22). – P. 2395-2407.

3 **Wojcik, W., Smolarz, A., Kotyra, A., Komada, P.** Optimization of optical fiber probe for flame monitoring by application of finite element method [Text] // Proceedings of SPIE. – 2000. – №4239. – P. 133-139.

4 **Chmielniak, T.** Qazba otynynyń energetikalıyq tehnologialaryn damytý múmkindikteri men kedergileri [Opportunities and barriers in the development of fossil fuel energy technologies] [Text] // Polityka Energetyczna. – 2011. – №14(2). – P. 23 - 34.

5 **Wilk, R.** Energetika jáne qorshaǵan ortany qorǵay [Energy and environment] [Text] // In conference materials "Burning coal '99". Wrocław. – 1999. – S. 77-89.

6 **Costella, J.** The Climategate Emails [Electronic resource]. – URL: https://coherence.com.au/curlew/wp-content/uploads/2018/04/climategate_analysis.pdf [accessed 18/06/2024].

7 **Wójcik, W., Gromaszek, K., Kotyra, A., Jagiello, Z.** Energetikalıq qazandyqta janý prosesin basqarıdyń keshendi júesi úshin modelder ázirleý Gorenje [Development of models for a comprehensive control system for the combustion process in an energy boiler] [Text] // Electrical Inspection. – 2010. – №10. – P. 136-139.

8 **Pavlov, S. V., Barylo, A. S., Kozlovska, T. I., Stasenko, V. A., Azarhov, O. Yu., Kravchuk, P. O., Wójcik, W., Orakbayev, Y., Yesmakhanova, L.** Analysis of microcirculatory disorders in inflammatory processes in the maxillofacial region on based of optoelectronic methods [Text] // Electrical Overview. – 2017. – №93(5). – P. 114 – 117.

9 **García-Armingol, T., Ballester, J., Smolarz, A.** Chemiluminescence – based sensing of flame stoichiometry: Influence of the measurement method [Text] // Measurement. – 2013. – №46(9). – P. 3084-3097.

10 **Wójcik, W., Kotyra, A., Golec, T., Gromaszek K.** Monitorń prosesi janý kamerasyń kómegimen [Monitoring the combustion process with a camera] [Text] // Electrical Inspection. – 2008. – №3. – P. 241- 243.

Л. Н. Есмаханова¹, *Б. С. Мыркалыков¹, Г. С. Балгабаева²,
А. Т. Әбенова², Ә. Б. Сағындық²

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қаласы

²Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы,
Павлодар қаласы

АЙҚЫН ЕМЕС НЕЙРОН ЖЕЛІЛЕР КӨМЕГІМЕН ЖАНУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Мақалада жалын сканерлерінің жұмысымен байланысты негізгі проблемалар қарастырылады, оптикалық жүйенің ластану мүмкіндігінен және фотодетекторға берілетін қуаттың соған байланысты төмендеуінен басқа, көрші оттықтар мен жану камерасының қыздырылған қабырғаларының кедергілері бар. Қазіргі уақытта жалынның пульсациясына (жытылықтауына) қатысты ақпарат пайдаланылады, ол фотодетектордан алынған сигналдың ауыспалы компонентін талдауды талап етеді. Фотодетектор сигналының кеңейтілген талдауы жалынның жоғалуын анықтау арқылы ғана емес, сонымен қатар, әсіресе атмосфераға зиянды заттардың шығарылуына байланысты бір оттық ішінде жану процесіндегі өзгерістерді анықтау арқылы жану процесін диагностикалау үшін жалын сканерлерін пайдалануға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы компьютерлік технологияның жетістіктері жану кезінде болатын

құбылыстарды дәл модельдеуге мүмкіндік береді. Процесті диагностикалау жүйелерінде нейрондық желілер модельдеу және жіктеу мәселелерін шешу үшін пайдаланылуы мүмкін. Мақала газ турбиналары мен шаң-газ қазандықтарында отынның жану процесін диагностикалау әдістеріне арналған. Отындардың жануын диагностикалау кезінде туындайтын мәселелер және оларды шешу бойынша ұсыныстар талқыланады. Диагностика алдында тұрған міндеттерді толық көрсету үшін осы процестердің параметрлерін өлшеудің оптикалық әдістері, өлшеулер мен жалын сипаттамаларын талдау әдістері қарастырылады, бұл жану процесін сипаттайтын ең жылдам ақпаратты пайдалануға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жалын, фотодетектор, отын, диагностика, жану процесі, оптикалық элемент.

L. N. Yesmakhanova¹, *B. S. Myrkalykov¹, G. S. Balgabaeva²,
A. T. Abenova², A. B. Sagyndyk²

¹Taraz Regional University named after M.Kh. Dulaty,
Republic of Kazakhstan, Taraz

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

SIMULATION OF THE COMBUSTION PROCESS USING FUZZY NEURAL NETWORKS

The article discusses the main problems associated with the operation of flame scanners, in addition to the possibility of contamination of the optical system and the associated reduction in power supplied to the photodetector, there is interference from neighboring burners and heated walls of the combustion chamber. Currently, information related to flame pulsation (flickering) is used, which requires analysis of the variable component of the signal received from the photodetector. Advanced analysis of the photodetector signal allows the use of flame scanners to diagnose the combustion process, not only by detecting flame loss, but also by identifying changes in the combustion process within a single burner, especially due to emissions of harmful substances into the atmosphere. Advances in modern computer technology make it possible to accurately simulate the phenomena occurring during combustion. In process diagnostic systems, neural networks can be used to solve modeling and classification problems. The article is devoted to methods for diagnosing the process of fuel combustion in gas turbines and dust and gas boilers. The problems that arise when diagnosing the combustion of these fuels and proposals for solving them are discussed. To fully present the challenges facing diagnostics, optical methods for measuring the parameters of these processes, methods for analyzing measurements and flame characteristics are considered, which allows the use of the fastest information characterizing the combustion process.

Key words: flame, photodetector, fuel, diagnostics, combustion process, optical element.

МРНТИ 44.29.37

***А. К. Жумадилова**

*Торайгыров университет, Республика Казахстан, г.
Павлодар*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0232-6779>

*e-mail: zhumadirova.a@teachers.tou.edu.kz

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И ТОКА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В данной статье разработаны математическая модель и программное обеспечение устройства автоматического контроля состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю в сетях напряжением 6 – 10 кВ.

Основой для разработки устройства служат существующие методы определения параметров изоляции и тока замыкания на землю в трехфазных электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В, обладающие существенной простотой измерений и расчета параметров изоляции и тока замыкания на землю по сравнению с другими косвенными методами.

При проектировании математической модели любого цифрового устройства широко применяются методы теории автоматов и теории

графов, позволяющие синтезировать достаточно сложные модели вычислительных устройств для определенных прикладных задач.

На начальном этапе разработки математической модели составлена содержательная граф-схема алгоритма, в которой внутри условных и операторных вершин записаны логические условия и микрокоманды в содержательных терминах. На основе структурной схемы и систем уравнений выходных функций и функций переходов построена логическая схема FSM устройства контроля состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю, приведен программный код.

Ключевые слова: электрическая сеть, изоляция, контроль, finite-state machine, программное обеспечение.

Введение

Электробезопасность и надежность электрической сети в большой мере определяются состоянием изоляции, а именно ее сопротивлением и емкостью относительно земли. Своевременное выявление и устранение дефектов, сопровождающихся изменением активной и емкостной составляющих проводимостей изоляции, позволит предотвратить большую часть повреждений, таких как однофазные замыкания на землю [1].

Однофазные замыкания на землю нередко приводят к крупным авариям, сопровождающимся значительными ущербами, и к следующим негативным последствиям [2]:

- появление в электрической сети перенапряжения порядка 2,4-3,5 кратных по сравнению с фазным;
- возникновение явления феррорезонанса, в результате которого часто выходят из строя трансформаторы напряжения;
- опасность поражения людей электрическим током при обрыве провода и падении его на землю;
- пробой изоляции статорной обмотки двигателей, что приводит к появлению опасных витковых или междуфазных коротких замыканий;
- увеличивается опасность поражения людей шаговым напряжением или напряжением прикосновения и др.

Материалы и методы

Способ измерения активной и емкостной проводимостей изоляции приведены в работах автора [3, 4], где получены формулы определения проводимостей изоляции и тока однофазного замыкания на землю:

$$g = \frac{U_l^2 - 3U_{\phi 0}^2 - U_0^2}{2U_0^2} \cdot g_0, \quad (1)$$

$$b = \frac{g_0}{U_0^2} \sqrt{4U_{\phi 0}^2 U_0^2 - (U_l^2 - 3U_{\phi 0}^2 - 3U_0^2)^2}, \quad (2)$$

$$I_0 = \frac{U_l U_{\phi 0}}{U_0} \cdot g_0, \quad (3)$$

где $U_{\phi 0}$ – напряжение фазы относительно земли;

U_n – линейное напряжение;

U_0 – напряжение нулевой последовательности.

Построим цифровую модель устройства на основе *finite-state machine (FSM)*, граф-схема которого приведена на рисунке 1 [5, 6].

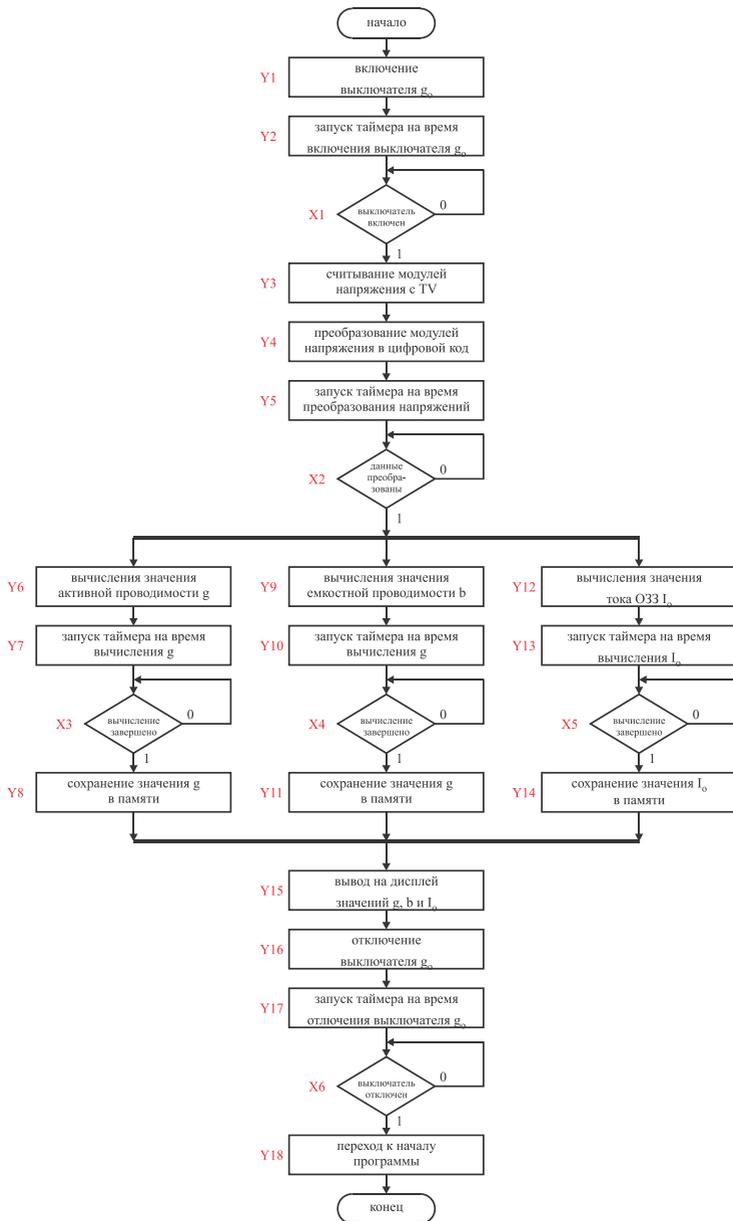


Рисунок 1 – Граф-схема алгоритма

Устройство принимает входные сигналы $X_1 \div X_7$, результатом работы являются выходные сигналы $Y_1 \div Y_{19}$. После выполнения условия X_2 граф-схема алгоритма разделяется на три ветви. Каждую ветвь можно представить последовательным цифровым автоматом, работающим параллельно с остальными двумя (рисунок 2).

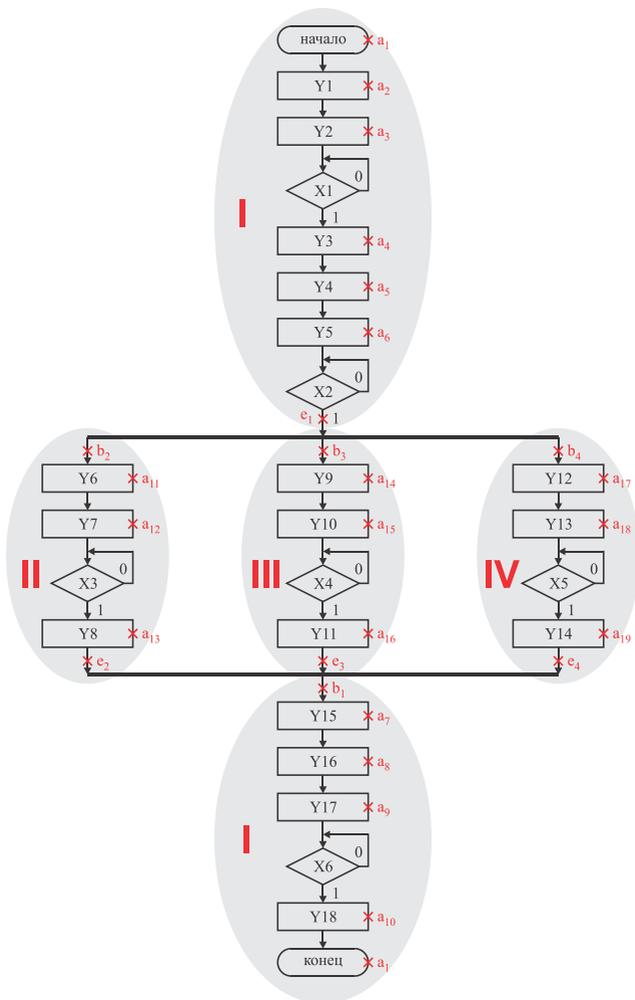


Рисунок 2 – Разделение граф-схемы алгоритма

На рисунке 2 состояниями $b_1 \div b_4$ отмечены начала ветвей, состояниями $e_1 \div e_4$ – концы, $a_1 \div a_{20}$ – состояния автомата.

Построим граф FSM по правилам отметки: состоянием a_1 отмечаются первая и последняя вершины (“начало” и “конец”); состояниями a_2, a_3, \dots, a_n отмечаются все последующие операторные вершины.

На рисунке 3 представлен граф FSM устройства контроля параметров изоляции. Каждая ветвь автомата может пребывать в одном из двух состояниях [7, 8]:

- рабочее – активные переходы из состояния в состояние;
- нерабочее – ожидание начала работы ветви или ожидание конца при синхронизации.

$$f_I^b = (a_{13} \vee e_2)(a_{16} \vee e_3)(a_{19} \vee e_4). \quad (4)$$

Таблица 1 – Структурная таблица переходов

Ве т в ь	Исхо дно е сос тоя ние	Код исх одн ого сос тоя ния	Сост оя ни е пе рех ода	Код сос тоя ния пер ехо да	Вхо д н о й с иг н ал	Функц ия возб ужде ния	
	a	0	a	0	1	00	
	$1(-)$	000	2	001		01	
	a	0	a	0	1	00	
	$2(Y_1)$	001	3	010		10	
	a	0	a	0	0	\bar{X}_1	00
				3	010		10
	a	0	a	0	0	X_1	00
				4	011		11
	a	0	a	0	1	01	
	$4(Y_3)$	011	5	100		00	
	a	0	a	0	1	01	
	$5(Y_4)$	100	6	101		01	
a	0	a	0	0	\bar{X}_2	01	
			6	101		01	
a	0	e	1	1	X_2	10	
			1	011		11	

	e 1 (-)	1 011	e 1	1 011	$f_{II,III,IV}$	10 11
			b 1	1 010	$\overline{f_{II,III,IV}}$	10 10
	b 1 (-)	1 010	b 1	1 010	$\overline{f_I^b}$	10 10
			a 7	0 110	f_I^b	01 10
	a 7 (Y ₁₅)	0 110	a 8	0 111	1	01 11
			a 9	1 000	1	10 00
	a 9 (Y ₁₇)	1 000	a 9	1 000	$\overline{X_6}$	10 00
			a 10	1 001	X_6	10 01
	a 10 (Y ₁₈)	1 001	a 1	0 000	1	00 00
			I	b 2 (-)	0 00	b 2
a 11	0 01	f_I^e				00 1
a 11 (Y ₆)	0 01	a 12		0 10	1	01 0
a 12 (Y ₇)	0 10	a 12		0 10	$\overline{X_3}$	01 0
		a 13	0 11	X_3	01 1	

	a 13 (Y ₈)	0 11	b 2	0 00	f ₁ ^b	0 00
			e 2	1 00	$\overline{f_1^b}$	10 0
	e 2 (-)	1 00	e 2	1 00	$\overline{f_1^b}$	10 0
			b 2	0 00	f ₁ ^b	00 0
II	b 3 (-)	0 00	b 3	0 00	$\overline{f_1^e}$	0 00
			a 14	0 01	f ₁ ^e	0 1
	a 14 (Y ₉)	0 01	a 15	0 10	1 0	01 0
	a 15 (Y ₁₀)	0 10	a 15	0 10	$\overline{X_4}$	0 01
			a 16	0 11	X ₄	0 1
	a 16 (Y ₁₁)	0 11	b 3	0 00	f ₁ ^b	0 00
			e 3	1 00	$\overline{f_1^b}$	10 0
	e 3 (-)	1 00	e 3	1 00	$\overline{f_1^b}$	10 0
			b 3	0 00	f ₁ ^b	00 0
	V	b 4 (-)	0 00	b 4	0 00	$\overline{f_1^e}$
a 17				0 01	f ₁ ^e	0 1

	a ₁₇ (Y ₁₂)	0 01	a ₁₈	0 10	1	01 0
	a ₁₈ (Y ₁₃)	0 10	a ₁₈	0 10	$\overline{X_5}$	01 0
			a ₁₉	0 11	X ₅	01 1
	a ₁₉ (Y ₁₄)	0 11	b ₄	0 00	f ₁ ^b	00 0
			e ₄	1 00	$\overline{f_1^b}$	10 0
	e ₄ (-)	1 00	e ₄	1 00	$\overline{f_1^b}$	10 0
			b ₄	0 00	f ₁ ^b	00 0

Начало работы ветвей II, III и IV определяется условием

$$f_I^e = a_6 X_2 \vee e_1. \tag{5}$$

Условие перехода автомата в состояние b₁, когда ветви II, III и IV выйдут из состояния ожидания

$$f_{II,III,IV} = b_2 \vee b_3 \vee b_4. \tag{6}$$

Составим структурную таблицу переходов FSM устройства (таблица 1). Выходные сигналы FSM зависят

только от текущего состояния, следовательно система уравнений функций выходов запишется как

$$\begin{aligned}
 y_1 &= a_2; & y_7 &= a_{12}; & y_{13} &= a_{18}; \\
 y_2 &= a_3; & y_8 &= a_{13}; & y_{14} &= a_{19}; \\
 y_3 &= a_4; & y_9 &= a_{14}; & y_{15} &= a_7; \\
 y_4 &= a_5; & y_{10} &= a_{15}; & y_{16} &= a_8; \\
 y_5 &= a_6; & y_{11} &= a_{16}; & y_{17} &= a_9; \\
 y_6 &= a_{11}; & y_{12} &= a_{17}; & y_{18} &= a_{10}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Функции переходов определяются по функциям возбуждения (таблица 1), которые в свою очередь зависят от текущего состояния автомата и входных сигналов.

На основе анализа структурной таблицы переходов, составляются:

- система функций перехода для ветви I

$$\begin{aligned}
 D_{11} &= a_6 X_2 \vee e_1 f_{234} \vee e_1 \overline{f_{234}} \vee b_1 \overline{f_1^b} \vee a_8 \vee a_9 \overline{X_6} \vee a_9 X_6 = \\
 &= a_6 X_2 \vee e_1 \vee b_1 \overline{f_1^b} \vee a_8 \vee a_9;
 \end{aligned}$$

$$D_{12} = a_4 \vee a_5 \vee a_6 \overline{X_2} \vee b_1 f_1^b \vee a_7;$$

$$\begin{aligned}
 D_{13} &= a_2 \vee a_3 \overline{X_1} \vee a_3 X_1 \vee a_6 X_2 \vee e_1 f_{234} \vee e_1 \overline{f_{234}} \vee b_1 \overline{f_1^b} \vee b_1 f_1^b \\
 &= a_2 \vee a_3 \vee a_6 X_2 \vee e_1 \vee b_1 \vee a_7;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{14} &= a_1 \vee a_3 X_1 \vee a_5 \vee a_6 \overline{X_2} \vee a_6 X_2 \vee e_1 f_{234} \vee a_7 \vee a_9 X_6 = \\
 &= a_1 \vee a_3 X_1 \vee a_5 \vee a_6 \vee e_1 f_{234} \vee a_7 \vee a_9 X_6;
 \end{aligned}$$

- система функций перехода для ветви II

$$D_{21} = a_{13} \overline{f_1^b} \vee e_2 \overline{f_1^b} = \overline{f_1^b} (a_{13} \vee e_2);$$

$$D_{22} = a_{11} \vee a_{12} \overline{X_3} \vee a_{12} X_3 = a_{11} \vee a_{12}; \quad (9)$$

$$D_{23} = b_2 f_1^e \vee a_{12} X_3;$$

- система функций перехода для ветви III

$$D_{31} = a_{16} \overline{f_1^b} \vee e_3 \overline{f_1^b} = \overline{f_1^b} (a_{16} \vee e_3);$$

$$D_{32} = a_{14} \vee a_{15} \overline{X_4} \vee a_{15} X_4 = a_{14} \vee a_{15}; \quad (10)$$

$$D_{33} = b_3 f_1^e \vee a_{15} X_4;$$

- система функций перехода для ветви IV

$$D_{41} = a_{19} \overline{f_1^b} \vee e_4 \overline{f_1^b} = \overline{f_1^b} (a_{19} \vee e_4);$$

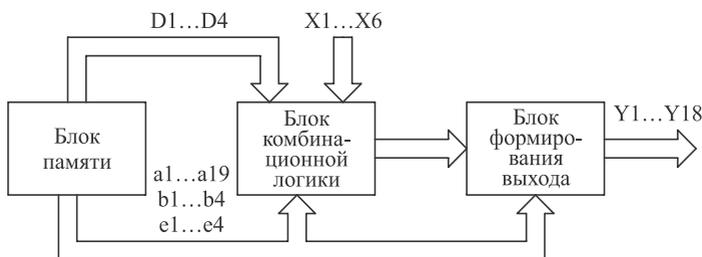
$$D_{42} = a_{17} \vee a_{18} \overline{X_5} \vee a_{18} X_5 = a_{17} \vee a_{18}; \quad (11)$$

$$D_{43} = b_4 f_1^e \vee a_{18} X_5.$$

На следующем этапе производится синтез FSM в универсальном базисе “И”, “ИЛИ”, “НЕ”.

Результаты и обсуждение

FSM состоит из трех основных частей: регистр текущего состояния; логика переходов; логика формирования выхода. Составим структурная схему FSM разрабатываемого устройства (рисунок 4).



$D1...D4$ – функции возбуждения ветвей; $X1...X6$ – входные сигналы; $Y1...Y18$ – выходные сигналы; $a1...a19$ – состояния автомата; $b1...b4$ – состояния начала ветвей; $e1...e4$ – состояния конца ветвей

Рисунок 4 – Структурная схема FSM устройства

На основе структурной схемы и систем уравнений выходных функций и функций переходов строится логическая схема FSM, приведенная на рисунке 5.

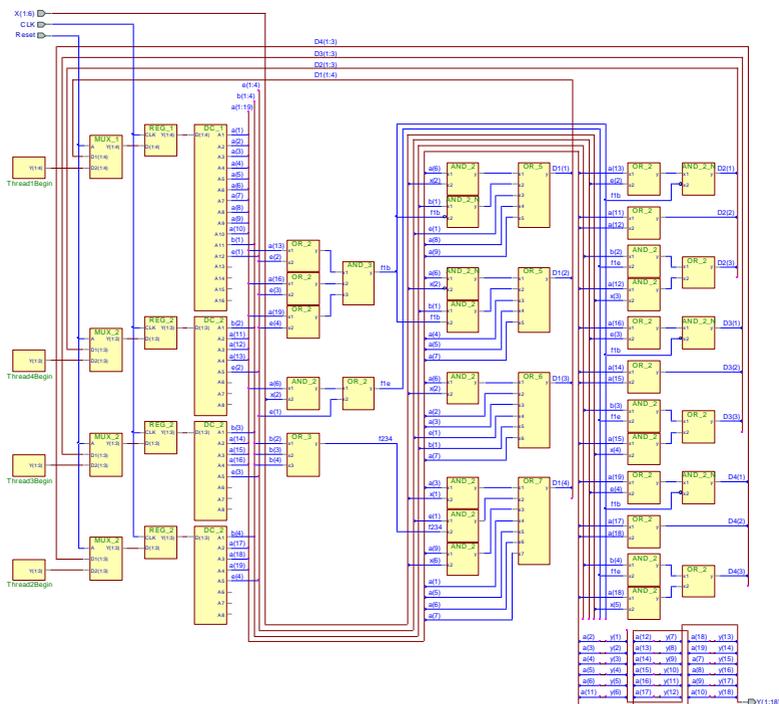


Рисунок 5 – Логическая схема FSM устройства контроля состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю

Память устройства организуется с помощью регистров REG, дешифраторов DC, блока сброса FSM в начальное состояние и мультиплексов MUX.

Для разработки программы моделирования FSM разрабатываемого устройства создается VHDL-модель автомата на основе программируемой логики [9, 10]. Листинг программы в сокращенном виде приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Листинг программного кода FSM устройства

Программный код	Пояснения
library IEEE; use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;	
entity Device_vhdl is port(CLK, Reset: in STD_LOGIC; X : in STD_LOGIC_VECTOR(1 to 6); Y : out STD_LOGIC_VECTOR(1 to 18)); end Device_vhdl;	<i>Объявление устройства</i>
architecture behavioral of Device_vhdl is	<i>Объявление архитектуры устройства</i>
type StateType1 is (a1, a2, a3, a4, a5, a6, e1, b1, a7, a8, a9, a10); type StateType2 is (b2, a11, a12, a13, e2); type StateType3 is (b3, a14, a15, a16, e3);	<i>Новые типы переменных</i>

type StateType4 is (b4, a17, a18, a19, e4);	
<pre> signal State1, NextState1: StateType1; ... signal State4, NextState4: StateType4;</pre>	<i>Переменные состояния и нового состояния</i>
<pre> signal sa1, sa2, sa3, sa4, sa5, sa6, sa7, sa8, sa9, sa10, sa11, sa12, sa13, sa14, sa15, sa16, sa17, sa18, sa19, sb1, sb2, sb3, sb4, se1, se2, se3, se4: BOOLEAN; signal flb, fle, f234: BOOLEAN;</pre>	<i>Переменные текущего состояния и вспомогательные состояния</i>
begin	
<pre> sa1 <= true when State1 = a1 else false; ... sa19 <= true when State4 = a19 else false; sb1 <= true when State1 = b1 else false; ... sb4 <= true when State4 = b4 else false; se1 <= true when State1 = e1 else false; ... se4 <= true when State4 = e4 else false;</pre>	<i>Определение переменной состояния</i>

$f1b \leq (sa13 \text{ OR } se2) \text{ AND } (sa16 \text{ OR } se3) \text{ AND } (sa19 \text{ OR } se4);$ $f1e \leq (sa6 \text{ AND } x(2) = '1') \text{ OR } se1;$ $f234 \leq sb2 \text{ OR } sb3 \text{ OR } sb4;$	<p><i>Определение вспомогательных функций</i></p>
$y(1) \leq '1' \text{ when } sa2 \text{ else } '0';$... $y(18) \leq '1' \text{ when } sa10 \text{ else } '0';$	<p><i>Назначение выходных сигналов</i></p>
$NextState1 \leq$ $a2 \text{ when } sa1 \text{ else}$ $a3 \text{ when } sa2 \text{ or } (sa3 \text{ and } x(1) = '0') \text{ else}$ $a4 \text{ when } (sa3 \text{ and } x(1) = '1') \text{ else}$ $a5 \text{ when } sa4 \text{ else}$ $a6 \text{ when } sa5 \text{ or } (sa6 \text{ and } x(2) = '0') \text{ else}$ $e1 \text{ when } (sa6 \text{ and } x(2) = '1') \text{ or } (se1 \text{ and } f234) \text{ else}$ $b1 \text{ when } (se1 \text{ and not } f234) \text{ or } (sb1 \text{ and not } f1b) \text{ else}$ $a7 \text{ when } (sb1 \text{ and } f1b) \text{ else}$ $a8 \text{ when } sa7 \text{ else}$ $a9 \text{ when } sa8 \text{ or } (sa9 \text{ and } x(6) = '0') \text{ else}$ $a10 \text{ when } (sa9 \text{ and } x(6) = '1') \text{ else}$ $a1;$ $NextState2 \leq$ $a11 \text{ when } (sb2 \text{ and } f1e) \text{ else}$ $a12 \text{ when } sa11 \text{ or } (sa12 \text{ and } x(3) = '0') \text{ else}$	<p><i>Определение следующего состояния</i></p>

<pre> a13 when (sa12 and x(3) = '1') else e2 when (sa13 and not f1b) or (se2 and not f1b) else b2; nextState3 <= a14 when (sb3 and f1e) else a15 when sa14 or (sa15 and x(4) = '0') else a16 when (sa15 and x(4) = '1') else e3 when (sa16 and not f1b) or (se3 and not f1b) else b3; nextState4 <= a17 when (sb4 and f1e) else a18 when sa17 or (sa18 and x(5) = '0') else a19 when (sa18 and x(5) = '1') else e4 when (sa19 and not f1b) or (se4 and not f1b) else b4; </pre>	
<pre> StateAssignmentProcess: process (CLK) is begin if rising_edge (CLK) then if Reset = '1' then State1 <= a1; State2 <= b2; </pre>	<p><i>Процесс назначения следующего состояния</i></p>

<pre> State3 <= b3; State4 <= b4; else State1 <= NextState1; State2 <= NextState2; State3 <= NextState3; State4 <= NextState4; end if; end if; end process StateAssignmentProcess; </pre>	
<pre> end behavioral; </pre>	

Выводы

Разработана модель и программное обеспечение FSM устройства контроля состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю. По достоверным значениям параметров изоляции и тока однофазного замыкания на землю производится стратегия выбора решения по оптимизации режима нейтрали с целью повышения уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок и обеспечения надежности системы электроснабжения промышленных предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Санатова, Т. С., Абикенова, А. А., Жандаулетова, Ф. Р. Современные методы защиты при работе

электрооборудования до и выше 1000 В : учебное пособие [Текст]. – Алматы: АУЭС, 2022. – 126 с.

2 **Паперный, Л. Е., Алейникова, М. В.** Режимы работы нейтрали электроустановок напряжением 0,4-750 кВ [Текст]. – Минск : БНТУ, 2016. – 150 с.

3 **Саятов, Ә. А., Жумадилова, А. К.** Разработка устройства автоматического определения параметров изоляции электрических сетей [Текст] // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. – 2018. – № 3. – С. 144-152.

4 **Утегулов, Б. Б., Марковский, В. П., Жумадилова, А. К.** Анализ сети Петри устройства контроля состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю в электрических сетях напряжением 6-10 кВ [Текст] // Материалы 11 МНПК «Проблемы и достижения в промышленной энергетике ПДЭ-11» в рамках выставки «Энергетика и электротехника – 2012». – Екатеринбург, 2012. – С. 22-27.

5 **Ожиганов, А. А.** Теория автоматов : учебное пособие [Текст]. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2013. – 84 с.

6 **Гуренко, В. В.** Введение в теорию автоматов : учебное пособие [Текст]. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 62 с.

7 **Titarenko, L., Hebda, O., Barkalov, A.** Synthesis of PLA-based Moore FSM with Unconventional Presentation of State Codes [Text], IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 28, 2013, Pages 250-255, <https://doi.org/10.3182/20130925-3-CZ-3023.00025>.

8 **Barkalov, A., Titarenko, L., Kolościński, M.** EMB-based design of Mealy FSM [Text], IFAC Proceedings

Volumes, Volume 46, Issue 28, 2013, Pages 215-220,
<https://doi.org/10.3182/20130925-3-CZ-3023.00012>.

9 **Sklyarov, V., Skliarova, Iou.** Hardware implementations of software programs based on hierarchical finite state machine models [Text], Computers & Electrical Engineering, Volume 39, Issue 7, 2013, Pages 2145-2160,
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2013.07.019>.

10 **Martín, P., Bueno, E., Rodríguez, Fco. J., Machado, O., Vuksanovic, B.** An FPGA-based approach to the automatic generation of VHDL code for industrial control systems applications: A case study of MSOGIs implementation [Text], Mathematics and Computers in Simulation, Volume 91, 2013, Pages 178-192,
<https://doi.org/10.1016/j.matcom.2012.07.004>.

REFERENCES

1 **Sanatova, T. S., Abikenova, A. A., Zhandauletova, F. R.** Sovremennye metody zashchity pri rabote elektrooborudovaniya do i vyshe 1000 V : uchebnoe posobie [Modern methods of protection in the operation of electrical equipment up to and above 1000 V : textbook] [Text]. – Almaty: AUES, 2022. – 126 p.

2 **Papernyi, L. E., Aleinikova, M. V.** Rezhimy raboty neutrali elektroustanovok napryazheniem 0,4-750 kV [Modes of operation of the neutral of electrical installations with voltage 0.4-750 kV] [Text]. – Minsk : BNTU, 2016. – 150 p.

3 **Sayatov, Ə. A., Zhumadirova, A. K.** Razrabotka ustroystva avtomaticheskogo opredeleniya parametrov izolyatsii elektricheskikh setei [Development of a device for

automatic determination of insulation parameters of electric networks] [Text] // Vestnik PGU. Energeticheskaya seriya. – 2018. – № 3. – P. 144-152.

4 **Utugulov, B. B., Markovskii, V. P., Zhumadirova, A. K.** Analiz seti Petri ustroistva kontrolya sostoyaniya izolyatsii i toka odnofaznogo zamykaniya na zemlyu v elektricheskikh setyakh napryazheniem 6-10 kV [Petri net analysis of insulation condition and single-phase short circuit to ground current monitoring devices in 6-10 kV electrical networks] [Text] // Materialy 11 MNPK «Problemy i dostizheniya v promyshlennoi energetike PDE-11» v ramkakh vystavki «Energetika i elektrotehnika – 2012». – Ekaterinburg, 2012. – P. 22-27.

5 **Ozhiganov, A. A.** Teoriya avtomatov : uchebnoe posobie [State machine theory : textbook] [Text]. – Sankt-Peterburg : NIU ITMO, 2013. – 84 p.

6 **Gurenko, V. V.** Vvedenie v teoriyu avtomatov : uchebnoe posobie [Introduction to the theory of state machine : textbook] [Text]. – M. : Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baumana, 2013. – 62 p.

7 **Titarenko, L., Hebda, O., Barkalov, A.** Synthesis of PLA-based Moore FSM with Unconventional Presentation of State Codes [Text], IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 28, 2013, Pages 250-255, <https://doi.org/10.3182/20130925-3-CZ-3023.00025>.

8 **Barkalov, A., Titarenko, L., Kolopieńczyk, M.** EMB-based design of Mealy FSM [Text], IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 28, 2013, Pages 215-220, <https://doi.org/10.3182/20130925-3-CZ-3023.00012>.

9 **Sklyarov, V., Skliarova, Iou.** Hardware implementations of software programs based on hierarchical finite state machine models [Text], Computers & Electrical Engineering, Volume 39, Issue 7, 2013, Pages 2145-2160, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2013.07.019>.

10 **Martín, P., Bueno, E., Rodríguez, Fco. J., Machado, O., Vuksanovic, B.** An FPGA-based approach to the automatic generation of VHDL code for industrial control systems applications: A case study of MSOGIs implementation [Text], Mathematics and Computers in Simulation, Volume 91, 2013, Pages 178-192, <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2012.07.004>.

А. К. Жұмадирова

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы,
Павлодар қ.

ОҚШАУЛАУ КҮЙІН ЖӘНЕ БІР ФАЗАЛЫ ЖЕРГЕ ТҰЙЫҚТАЛУ ТОҒЫН БАҚЫЛАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада кернеуі 6 – 10 кВ желілерде оқшаулау күйін және жерге бір фазалы тұйықталу тоғын автоматты бақылау құрылғысының математикалық моделі мен бағдарламалық жасақтамасы әзірленді.

Құрылғыны әзірлеудің негізі кернеуі 1000 В-тан жоғары оқшауланған бейтарап үш фазалы электр желілерінде оқшаулау және жерге

тұйықталу тогының параметрлерін анықтаудың қолданыстағы әдістері болып табылады, олар басқа жанама әдістермен салыстырғанда оқшаулау мен жерге тұйықталу тогының параметрлерін өлшеу мен есептеудің айтарлықтай қарапайымдылығына ие.

Кез-келген сандық құрылғының математикалық моделін жобалау кезінде белгілі бір қолданбалы есептер үшін есептеу құрылғыларының жеткілікті күрделі модельдерін синтездеуге мүмкіндік беретін автоматтар теориясы мен графиктер теориясының әдістері кеңінен қолданылады.

Математикалық модельді дамытудың бастапқы кезеңінде алгоритмнің мазмұнды графигі жасалады, онда шартты және операторлық шыңдар ішінде логикалық шарттар мен микрокомандалар мазмұндық терминдермен жазылады. Шығу функциялары мен өтпелі функциялардың теңдеулерінің құрылымдық схемасы мен жүйелеріне сүйене отырып, оқшаулау күйін және бір фазалы жерге тұйықталу тогын бақылау құрылғысының FSM логикалық схемасы құрылады, бағдарламалық код берілген.

Кілтті сөздер: электр желісі, оқшаулау, бақылау, finite-state machine, бағдарламалық жасақтама.

A. K. Zhumadirova

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

MATHEMATICAL MODEL OF THE INSULATION CONDITION AND SINGLE-PHASE SHORT CIRCUIT TO GROUND CURRENT MONITORING DEVICE

In this article, a mathematical model and software for the device for automatic monitoring of the state of insulation and single-phase earth fault current in networks with a voltage of 6-10 kV have been developed.

The basis for the development of the device is the existing methods for determining insulation parameters and ground fault current in three-phase electric networks with an isolated neutral voltage above 1000 V, which have significant simplicity in measuring and calculating insulation parameters and ground fault current compared with other indirect methods.

When designing a mathematical model of any digital device, methods of automata theory and graph theory are widely used, which allow synthesizing fairly complex models of computing devices for certain applied tasks.

At the initial stage of the mathematical model development, a meaningful graph diagram of the algorithm was compiled, in which logical conditions and micro commands are written inside conditional and operator vertices in meaningful terms. Based on the block diagram and systems of equations of output functions and transition functions, a logical circuit of

the FSM device for monitoring the state of insulation and current of a single-phase earth fault is constructed, and the program code is given.

МРНТИ 44.29.31

***Д. Д. Исабеков¹, Н. Ш. Жуматаев²,
Д. С. Нарынбаев³**

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

*Ассоциация KAZENERGY, Республика Казахстан,
г. Астана³*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6673-5646>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9494-9355>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9705-3420>

*e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В статье авторами предложен принцип компоновки и действия многофункционального комплекта релейной защиты, являющегося ресурсосберегающим, а также осуществляющего постоянный контроль исправности своих элементов. Назначением данного комплекта является защита отсеков ячеек комплектных распределительных устройств (КРУ), 6 и выше кВ. от внутренних повреждений, приводящих к возникновению электрической дуги, а также и от внешних коротких замыканий - на

электроустановках, подключенных к ней, обладающего также защитой от перегрузки по току. С уверенностью можно сказать, что все выше представленное в совокупе предлагает новый подход в выполнении релейной защиты. Универсальностью комплекта является то, что он состоит из вышеперечисленных защит, а их действие заключается в реализации быстросрабатывающих защит от дуговых коротких замыканий и перегрузки по току на основе фотодиодов, терморезисторов и первых герконов, реагирующих на изменение освещенности и температуры внутри различных отсеков ячейки, а также максимальной токовой защиты (МТЗ), реализуемой с помощью вторых герконов- от внешних междуфазных коротких замыканий, реагирующих на изменение параметров магнитных полей, созданных токами фаз токоведущих шин ячейки. Использование представленных защит повышает надежность релейной защиты, как самой ячейки, так и электроустановок, подключенных к ней. Представленный многофункциональный комплект релейной защиты применим во всех сериях ячеек, внутренней и наружной установок.

Ключевые слова: геркон, защиты, терморезистор, фотодиод, светодиод, реле.

Введение

Создание ресурсосберегающих устройств для защиты различных электроустановок от дуговых и междуфазных коротких замыканий без применения металлоемких трансформаторов тока (ТТ) с металлическими сердечниками, имеющих свои недостатки, начатых еще во второй половине прошлого века, несмотря на широкое внедрение микропроцессорных устройств, остается актуальным и по сегодняшний день [1–4]. Одним из перспективных путей построения таких устройств без ТТ является использование герконов, имеющих свои преимущества, как в сравнении с данными ТТ, так и с другими такими же аналогичными магниточувствительными элементами, а также использование фотодиодов и терморезисторов для реализации дуговой защиты [5–10]. С начала нынешнего столетия уже имеется ряд разработанных устройств на основе герконов, обладающих своей простотой функционирования и обслуживания [11–14]. В данной работе предлагаются новые конструктивные решения – в виде устройств по реализации быстродействующих защит от дуговых коротких замыканий внутри ячейки, на примере серии К-63, перегрузки по току и от внешних коротких замыканий -МТЗ, подключенных к ячейке различных электроустановок.

Материалы и методы

Проработка различных источников дала возможность создания нового альтернативного традиционным защитам устройства защиты, обладающее эффектом ресурсосбережения и применимое для различных электроустановок, напряжением 6 и выше кВ.

Результаты и обсуждение

Работа устройства. При появлении повреждения через дугу в любом отсеке: сборных шин 1; выключателя 2; кабельном 3 ячейки изменяется освещение внутри них и при перегрузке по току изменяется температура токоведущих шин 4. На эти изменения- вспышку света срабатывают установленные внутри отсеков один из фотодиодов (ФД1-ФД3)5, а на изменение температуры шин - один из терморезисторов (ТР1-ТР3)6 (рисунок 1а,б). При этом первый вывод фотодиодов 5 и терморезисторов 6 подключен к положительному полюсу источника постоянного тока (ИП)7, а второй их вывод подключен к первому выводу обмоток управления 8 первых герконов 9 (рисунок 1; 2). Второй вывод обмоток управления 8 подключен к полюсу "минус" ИП7. После этого сигнал с фотодиода 5 или с терморезистора 6 поступает на первый вывод обмотки управления 8 герконов 9. Напряжение на обмотке 8 оказывается достаточным для срабатывания герконов 9. Замыкающий контакт 10 герконов 9 подключен к полюсу «плюс» ИП7 и с выдержкой времени, равной 0,02 с. (данная выдержка времени является отстройкой от возможных кратковременных помех) срабатывая, подаёт сигнал на первые выводы обмоток одного из трёх двухконтактных реле времени 11 -(РВ1), (РВ2) или (РВ3). При этом одно из этих реле 11 отсчитав выдержку времени, равной 0,08 с. срабатывает, и замыкая свой первый контакт с выдержкой времени на замыкание (РВ1.1, РВ2.1 или РВ3.1)12 подаёт сигнал на первые выводы обмоток (РП1), (РП2) или (РП3) промежуточного реле 13. Данное реле 13 срабатывая своим контактом на замыкание (РП1.1, РП2.1 или РП3.1)14, а также

с помощью (PY1), (PY2) или (PY3) указательного реле 15 подаёт сигнал на первый вывод обмотки отключения выключателя (КО)16 ячейки, второй вывод которой подключен к полюсу «минус» ИП7. Выключатель при этом отключается (рисунок 2). При срабатывании одного из указательных реле 15 выпадает блинкер «Дуговая защита» или «Перегрузка по току».

Принцип работы МТЗ. При междуфазных коротких замыканиях (на электроустановках, подключенных к ячейке) изменяются параметры магнитных полей внутри ячейки и индукция токоведущих шин 4, действующая на вторые герконы 17, состоящих из переключающего 18, размыкающего 19 и замыкающего 20 контактов, становится достаточной для их срабатывания (рисунок 1,2). При этом срабатывает замыкающий контакт 20. Переключающий контакт 18 подключен к полюсу «плюс» ИП7. Далее сигнал с контакта 20 с выдержкой времени, равной 0,02 с. (данная выдержка времени является отстройкой от возможных кратковременных помех) идёт на первый вывод обмотки (PB4), (PB5) или (PB6) реле времени 21 (рисунок 1). Реле 21 отсчитав выдержку времени 0,15 с. подают через свой первый контакт с выдержкой времени на замыкание (PB4.1-PB6.1)22 сигнал на первый вывод обмоток (РП4), (РП5) или (РП6) промежуточного реле 23, которые с помощью своего первого контакта (РП4.1-РП6.1)24 подключены к первым выводам обмоток (PY4), (PY5) и (PY6) указательного реле 25, которые подключены к первому выводу катушки отключения выключателя (КО)16 (рисунок 2). При срабатывании одного из указательных реле 25 выпадает блинкер «МТЗ».

Регулирование параметров срабатывания (выбор уставок) МТЗ проводят приближая к шине 4 вторых герконов 17, размещенных на планке 26, напротив шины 4, на безопасном от неё расстоянии, согласно ПУЭ, равным 120 мм [15]. Для одной защиты применяют один геркон 17. Движение по горизонтали планки 26 реализуют первыми винтами 27, фиксируемых к ходовым осям 28, вдоль зазоров 29 пластины 30. Движение вверх-вниз планки 26 проводят с помощью вторых винтов 31, ослабляя или затягивая хомуты 32 к ходовым осям 28. Перемещение вторых герконов 17 контролируется по двум шкалам перемещения 33 и 34 (рисунок 1а, б).

Устанавливая устройство МТЗ, рассчитывают необходимое расстояние от шин 4 до герконов 17 и угол, под которым эти герконы должны находиться по отношению к силовым линиям магнитного поля, создаваемого протекающим током в шине 4 и принимают тип герконов 17 с заданной МДС (рисунок 1б).

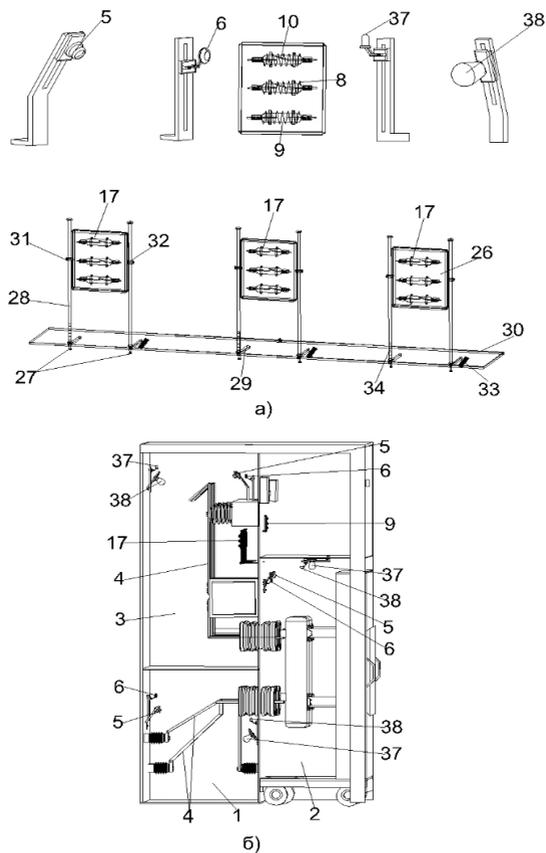


Рисунок 1– Элементы комплекта защиты а);
расположение элементов в ячейке КРУ б).

Диагностика исправности элементов многофункционального комплекта релейной защиты. С целью надежного функционирования устройства дуговой защиты и защиты от перегрузки по току осуществляется

непрерывный контроль их исправности. Выполняется он с использованием микроконтроллера (МК)35, двумя входами (полюсами «плюс» и «минус») подключенного к (ИП)7. Микроконтроллер с выдержкой времени, равной 0,06 с. осуществляет подачу сигнала (положительный потенциал), через РП1.2, РП2.2 и РП3.2 контакт 36 первого по третьему промежуточного реле 13 к первым выводам (СВ1-СВ3) 37 и (ФЛ1-ФЛ3) 38. Отрицательный потенциал с микроконтроллера 35 подаётся на вторые выводы светодиодов 37 и филаментных ламп 38 безперебойно (рисунок 2). Когда срабатывают светодиоды 37 и филаментные лампы 38, установленные в отсеках, то возникает вспышка света и кратковременное повышение температуры, и на эту вспышку света срабатывают фотодиоды 5, а на повышение температуры - терморезисторы 6. После этого сигнал поступает в обмотку управления 8 первых герконов 9. Под действием индукции магнитного поля, создаваемой обмоткой управления 8 срабатывает замыкающий 10 контакт первых герконов 9 (рисунок 1,2). После срабатывают двухконтактные реле времени 11, которые одновременно отсчитав выдержку времени, равную 0,02 с. замыкают свои вторые контакты (РВ1.2, РВ2.2, РВ2.3) 39 и подают сигнал на первые выводы обмоток РУ7–РУ9 указательных реле 40, сигнализирующие о срабатывании цепи контроля исправности, а также выдержку времени равную 0,08 с. замыкая при этом свои первые контакты с выдержкой времени на замыкание 12, подают сигнал на промежуточное реле 13. Однако эти реле 13 не успевают сработать, так как выдержка времени 0,08 с. на замыкание у первых контактов 12 двухконтактных реле времени 11

больше, чем выдержка времени 0,02 с. на замыкание у вторых контактов 39 этих же реле 11.

При контроле исправности состояния устройства МТЗ диагностируемый сигнал (потенциалы «плюс» и «минус») также подается с микроконтроллера 35, с заданной выдержкой времени, равной 0,01 с. на обмотку реле РВ7–РВ9 времени 41. При этом потенциал «плюс» с ИП7 подается через переключающий 18 и размыкающий 19 контакты вторых герконов 17 на контакты (РВ7.1, РВ8.1, РВ9.1) 42 реле времени 41. Реле 41 отсчитав выдержку времени замыкают свои контакты 42 и отправляют сигнал на первые выводы обмоток РУ10–РУ12 указательного реле 43, дающие понять о срабатывании цепи контроля исправности устройства МТЗ. Через 600 секунд, установленных на микроконтроллере, контроль вновь возобновляется и сигналы проходят по той же последовательности.

Когда какой-либо элемент данного комплекта имеет повреждение, то на герконах проверочный сигнал отсутствует, то есть седьмое по двенадцатое указательные реле не срабатывают. Данный факт обнаруживается обслуживающим персоналом.

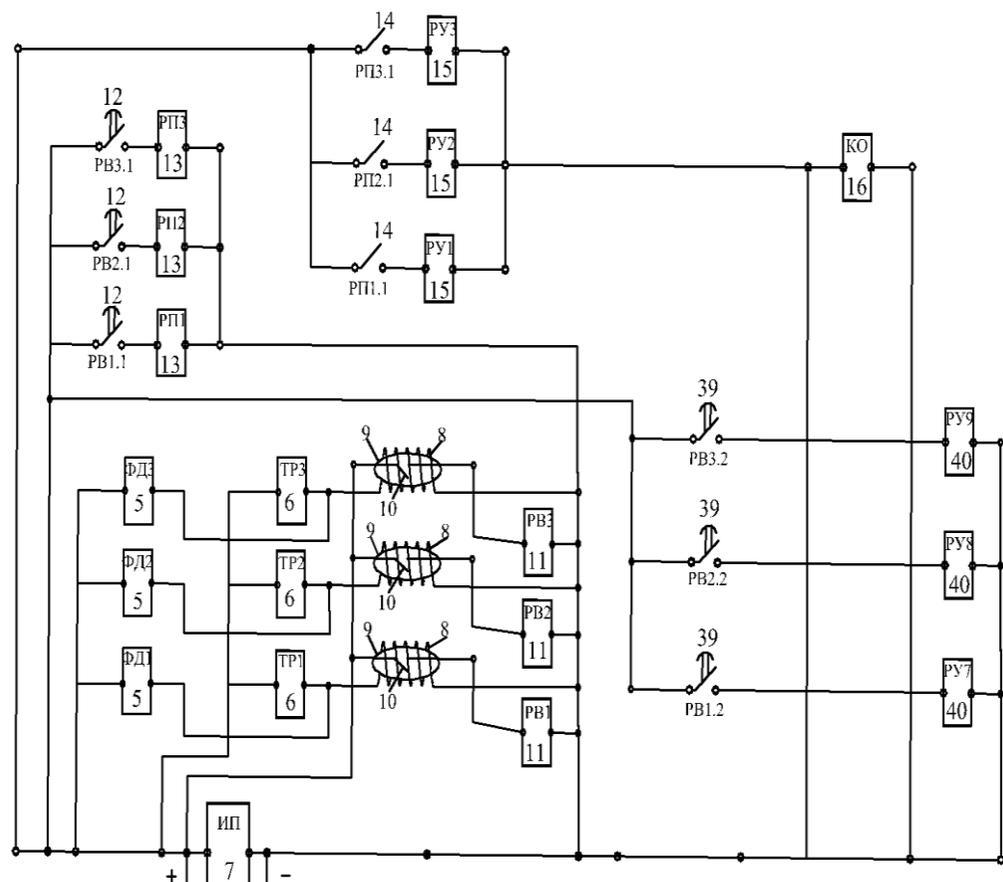
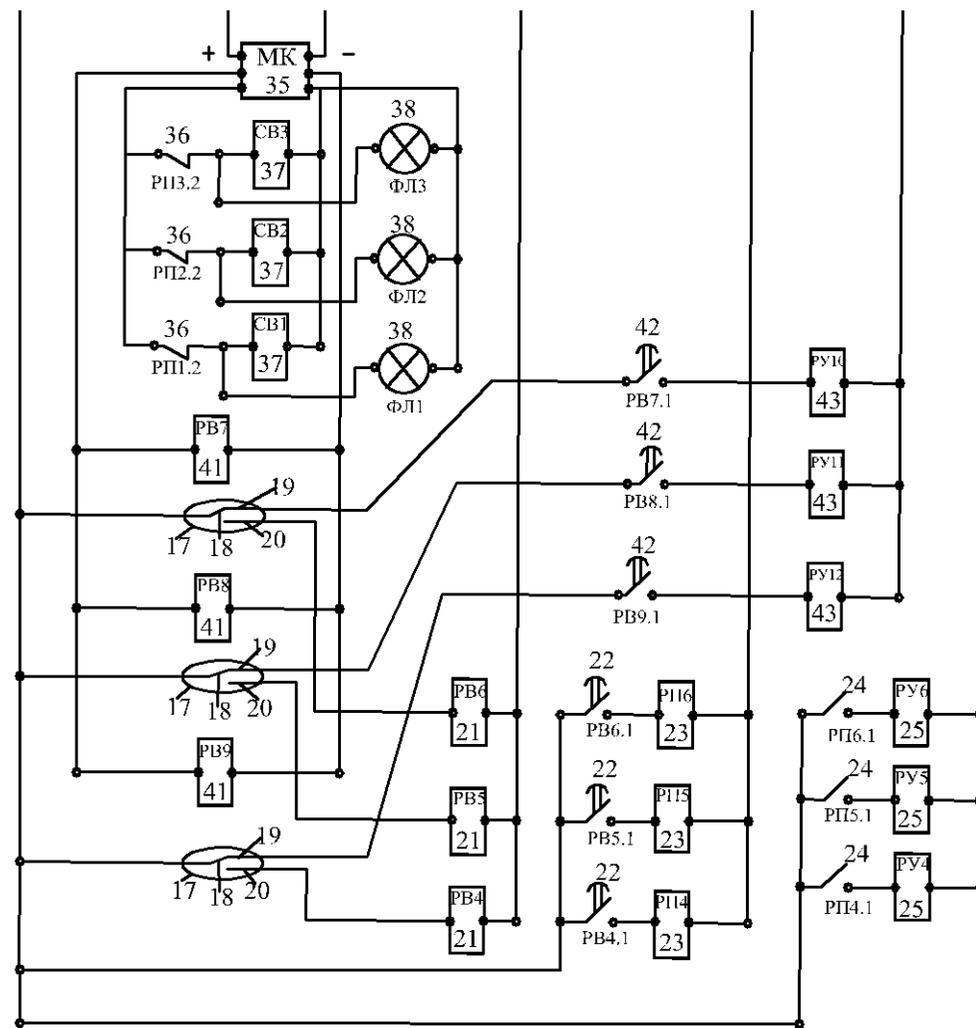


Рисунок 2—Структурная схема многофункционального комплекта релейной защиты



Продолжение рисунка 2

Информация о финансировании. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №. AP14972954)

Выводы

Многофункциональный комплект релейной защиты выполняет одновременно функции трех защит- от дуговых коротких замыканий, от перегрузки по току и от междуфазных коротких замыканий, осуществляя при этом постоянный контроль состояния исправности всех его элементов. Отсутствие использования металлоёмких, дорогих по стоимости и со значительными весогабаритными параметрами трансформаторов тока с металлическими сердечниками соответствует актуальному вопросу-ресурсосбережению, который в электроэнергетике имеет значимые приоритеты. Все конструктивные элементы данного комплекта выполнены без применения каких либо металлических конструкций, а именно из облегчённого и прочного пластика, типа "PLA", распечатанных на 3D принтере. Результатом является то, что всё перечисленное выше вместе позволяет использовать данный ресурсосберегающий многофункциональный комплект для реализации всех представленных защит.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Коллектив авторов ГК «Энергоразвитие». «Современные цифровые решения и забота об окружающей среде», журнал «Электроэнергия. Передача и распределение» № 2(83), г. Казань, март-апрель 2024. <https://eepir.ru/article/sovremennye-cifrovye-resheniya-i-nbsp-zabota-ob-nbsp-okruzhajushhej-srede/>

2 Киреева Э. А., Цырук С. А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Учебник. Москва. Издательский центр «Академия», 288стр., 2010. <https://www.elec.ru/files/2019/12/25/kireeva-ea-cyruk-sa-releynaya-zaschita-i-avtomatik.PDF>

3 Трансформаторы измерительные Часть 2 Технические условия на трансформаторы тока. Москва, изд. Стандартинформ. 2018. https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/03/21/pnst_283-2018.pdf

4 Исмагилов Ф.Р., Ахматнабиев Ф.С. Микропроцессорные устройства релейной защиты энергосистем. Уфа, УГАТУ, 171 стр., 2009. https://www.elec.ru/files/2019/12/25/ismagilov-fr-ahmatnabiev-fs-mikroprocessornye-ustr_N63n.pdf

5 Патент № 906 Республики Казахстан, МПК H02H 7/26. Волоконно-оптический датчик открытой электрической дуги дуговой защиты комплектных распределительных устройств / Болотов Ю. А.; Пастухова О. В.; Кульжамбекова С. Д.; Наурузова Г. Х.; опубл. 15.01.2013, бюл. № 1.

6 Кожович, Л. А. Нетрадиционные приборные трансформаторы для улучшения конструкции подстанций. Сессия CIGRE, 2016. <https://www.e-cigre.org/publications/detail/b3-101-2016-non-conventional-instrument-transformers-for-improved-substation-design.html>

7 Marco Crescentini и др. Датчики тока на эффекте Холла: принципы работы и методы реализации IEEE Сенсоры. JOURNAL, 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9568879>

8 Марков В. Ф., Мухамедзянов Х. Н., Маскаева Л. Н. Материалы современной электроники. Екатеринбург, Издательство Уральского университета, 272с., 2014. https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/28841/1/978-5-7996-1186-6_2014.pdf

9 Карабанов, С. М., Майзельс, Р. М., Шоффа, В. Н. Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 408 с., 2011.

Принципиальные электрические схемы дуговой защиты РУ 6–20 кВ, выполненные с применением комплекса «ДУГА-МТ». Техническая информация ТИ-042.4-2021. КРУ 6-20 кВ, схема с двумя секциями шин, один ввод на секцию. 2021. https://www.mtrele.ru/files/project/albom_shem_dugovoi_zach_ru_6-20_kv_s_primeneniem_duga-mt_4.pdf

10 Regellii Suassuna de Andrade Ferreira, Jalberth Fernandes de Araujo, Filipe L. M. Andrade, Edson G. Costa, Francisco C. F., Guerra. Влияние электромагнитных сил в зазорах защитного КТ. IET Наука, Измерения и технологии, выпуск 12, номер 7, стр. 872 – 877, 2018. DOI: [10.1049/iet-smt.2017.042](https://doi.org/10.1049/iet-smt.2017.042)

11 Ильюшин Ю., Мартиросян А. Разработка системы мониторинга состояния электромагнитного поля электролизера содерберга. Наука, № 14, 3501. 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52002-w>

12 Исабеков, Д. Д. Ресурсосберегающие защиты силовых трансформаторов от внутренних повреждений. E3S Web of Conferences 434, 01041, ICECAE, стр. 35-39, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401041>

13 Исабеков, Д. Д., Исенов, С. С. Альтернативные ресурсосберегающие токовые защиты электродвигателей. Труды - 2024 Международная Российская конференция «SmartIndustryCon» 2024, стр. 19-24, 2024. DOI: [10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515681](https://doi.org/10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515681)

14 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан: утв. 20 марта 2015 года, №230 // adilet.zan.kz. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010851>

REFERENCES

1 Kollektiv avtorov GK «Energorazvitie». «Sovremennie cifrovie resheniya i zabota ob okrujayuschei srede», jurnal «Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie», [Modern digital solutions and care for the environment], [Text], № 2, (83), g. Kazan, mart–aprel 2024. <https://eepir.ru/article/sovremennve-cifrovye-resheniya-i-nbsp-zabota-ob-nbsp-okruzhajushhej-srede/>

2 **Kireeva E. A., Ciruk S. A.** Releynaya zaschita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem. [Relay protection and automation of electric power systems], [Text]. Uchebnik. Moskva. Izdatelskii centr «Akademiya», 288 p., 2010. <https://www.elec.ru/files/2019/12/25/kireeva-ea-cyruk-sa-releynaya-zaschita-i-avtomatik.PDF>

Transformatory izmeritelnye Chast 2 Tehnicheskie usloviya na transformatory toka. [Measuring transformers Part 2 Specifications for current transformers], [Text]– Moskva, izd. Standartinform. 2018. https://www.elec.ru/viewer?url=files/2019/03/21/pnst_283-2018.pdf

3 **Ismagilov F. R., Ahmatnabiev F. S.** Mikroprocessornie ustroistva releinoi zaschiti energosistem. [Microprocessor devices of power system relay protection.], [Text]– Ufa, UGATU, 171 p., 2009.

https://www.elec.ru/files/2019/12/25/ismagilov-fr-ahmatnabiev-fs-mikroprocessornve-ustr_N63n.pdf

4 Patent № 906 Respubliki Kazaxstan,MPK H02H 7/26. Volokonno-opticheskiy datchik otkry`toj e`lektricheskoy dugi dugovoj zashhity` komplektny`x raspreditel`ny`x ustrojstv / Bolotov Yu. A.; Pastuxova O. V.; Kul`zhambekova S. D.; Nauruzova G. X.;opubl.15.01.2013,byul.№ 1.

5 Kozhovich L. A. Netradicionnie pribornie transformatori dlya uluchsheniya konstrukcii podstancii. [Non-traditional instrument transformers to improve substation design. CIGRE Session], [Text]– Sessiya CIGRE 2016. <https://www.e-cigre.org/publications/detail/b3-101-2016-non-conventional-instrument-transformers-for-improved-substation-design.html>

6 Marco Crescentini i dr. Datchiki toka na effekte Holla_ principi raboti i metodi realizacii. [Hall-effect current sensors: principles of operation and methods of realization], [Text]. IEEE Sensori. JOURNAL_ 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9568879>

7 Markov V. F., Muhamedzyanov H. N., Maskaeva L. N. Materiali sovremennoi elektroniki [Materials of modern electronics], [Text]. Ekaterinburg, Izdatelstvo Uralskogo universiteta, , 272 p., 2014. https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/28841/1/978-5-7996-1186-6_2014.pdf

8 Karabanov S. M., Majzel's R. M., Shoffa V. N. Magnitouppravlyaemy`e kontakty` (gerkony`) i izdeliya na ix osnove [Magnetically actuated contacts (reed contacts) and products based on them] [Text]–Dolgoprudny`j: Izdatel'skiy Dom Intellekt, 2011. – 408 p.

9 Principialnye elektricheskie shemy dugovoj zashity RU 6–20 kV, vypolnennye s primeneniem kompleksa «DUGA-MT». Tehnicheskaya informaciya TI-042.4-2021. KRU 6-20 kV, shema s dvumya sekcijami shin, odin vvod na sekciju. [Principal electric schemes of arc protection of 6-20 kV switchgears made with application of “DUGA-MT” complex. Technical information TI-042.4-2021. 6-20 kV switchgear, scheme with two busbar sections, one input per section], [Text]– 2021. https://www.mtrele.ru/files/project/albom_shem_dugovoi_zach_ru_6-20_kv_s_primeneniem_duga-mt_4.pdf

10 Regellii Suassuna de Andrade Ferreira, Jalberth Fernandes de Araujo, Filipe L. M. Andrade, Edson G. Costa, Francisco C. F., Guerra. Vliyanie elektromagnitnih sil v zazorah zaschitnogo KT [Influence of

electromagnetic forces in the gaps of a protective CT], [Text]– IET Nauka, Izmereniya i tehnologii, vipusk 12, nomer 7, pp. 872 – 877, 2018. DOI: [10.1049/iet-smt.2017.042](https://doi.org/10.1049/iet-smt.2017.042)

11 Пыushin Yu., Martirosyan A. Razrabotka sistemy monitoringa sostoyaniya elektromagnitnogo polya elektrolizera sodberga. [Development of a system for monitoring the state of the electromagnetic field of the sodberg electrolyzer], [Text]– Nauka–2024, № 14, 3501.

12 Issabekov, D. D. Resursosberegayushhie zashhity` silovy`x transformatorov ot vnutrennix povrezhdenij [Resource-saving protection of power transformers against internal damage] [Text]. E3S Web of Conferences 434, 01041, ICECAE, pp. 35-39, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401041>

13 Issabekov, D. D., Issenov, S. S. Al`ternativny`e resursosberegayushhie tokovy`e zashhity` e`lektrodvigatelej [Alternative resource-saving current protections for electric motors] [Text]. Trudy` - 2024 Mezhdunarodnaya Rossijskaya konferenciya «SmartIndustryCon» 2024, pp. 19-24, 2024. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515681

14 Prikaz Ministra e`nergetiki Respubliki Kazaxstan. Pravila ustrojstva e`lektroustanovok Respubliki Kazaxstan [Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan. Rules for the device of electrical installations of the Republic of Kazakhstan] [Text]: utv. 20 marta 2015, №230 // adilet.zan.kz. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010851>

Д. Д. Исабеков¹, Н. Ш. Жуматаев², Д. С. Нарынбаев³

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

KAZENERGY Қауымдастығы, Қазақстан Республикасы, Астана қ.³

РЕЛЕЛІК ҚОРҒАУДЫҢ КӨП ФУНКЦИОНАЛДЫ КОМПЛЕКТІ

Мақалада авторлар ресурстарды үнемдейтін, сондай-ақ оның элементтерінің жұмысқа жарамдылығын үнемі қадағалайтын көп функционалды релелік қорғаныс жиынтығының орналасуы мен жұмыс істеу принципін ұсынады. Бұл жинақтың мақсаты 6 кВ және одан жоғары комплектық тарату құрылғыларының (КТҚ)

ұяшықтарының бөлімдерін қорғау болып табылады. электр доғасының пайда болуына әкелетін ішкі зақымданудан, сондай-ақ сыртқы қысқа тұйықталудан - оған қосылған электр қондырғыларында, сондай-ақ артық ток қорғанысы бар. Жоғарыда айтылғандардың барлығы бірге релелік қорғанысқа жаңа тәсілді ұсынады деп сеніммен айта аламыз. Жинақтың әмбебаптығы ол жоғарыда аталған қорғаныстардан тұрады және олардың әрекеті фотодиодтар, термисторлар және әртүрлі жарықтандыру мен температураның өзгеруіне жауап беретін бірінші тісті қосқыштар негізінде доғалық қысқа тұйықталудан және асқын токтан жоғары жылдамдықты қорғауды жүзеге асыру болып табылады. ұяшықтардың бөлімдері, сондай-ақ екінші тісті қосқыштар арқылы жүзеге асырылатын максималды ток қорғанысы (МТК) - ұяшық тогының фазалық токтарымен жасалған магнит өрістерінің параметрлерінің өзгеруіне жауап беретін сыртқы фазалық қысқа тұйықталулардан. шиналарды тасымалдау. Ұсынылған қорғаныстарды пайдалану ұяшықтың өзінің де, оған қосылған электр қондырғыларының да релелік қорғанысының сенімділігін арттырады. Ұсынылған көп функциялы релелік қорғаныс жинағы ұяшықтардың барлық серияларында, ішкі және сыртқы қондырғыларда қолданылады.

Кілтті сөздер: геркон, қорғаныс, термистор, фотодиод, жарықдиод, реле.

D. D. Issabekov¹, N. Sh. Zhumataev², D. S. Narynbayev³

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

KAZENERGY Association, Republic of Kazakhstan, с. Astana³

MULTIFUNCTIONAL RELAY PROTECTION SET

In the article the authors propose the principle of layout and operation of a multifunctional relay protection kit, which is resource-saving, as well as constantly monitoring the serviceability of its elements. The purpose of this set is to protect the compartments of the cells of

complete switchgear (switchgear), 6 and above kV, from internal faults leading to arcing, as well as from external short circuits - on electrical installations connected to it, possessing also protection against overcurrent. It is safe to say that all of the above presented in combination offers a new approach to relay protection. The versatility of the set is that it consists of the above-mentioned protections, and their action consists in realization of fast-acting protections against arc short circuits and overcurrent on the basis of photodiodes, thermistors and the first reed switches, reacting to changes in illumination and temperature inside different compartments of the cell, as well as maximum current protection (MCP), realized with the help of the second reed switches, against external inter-phase short circuits, reacting to changes in the parameters of magnetic fields created by phase currents of current-carrying busbars of the cell. The use of the presented protections increases the reliability of relay protection of both the cell itself and the electrical installations connected to it. The presented multifunctional relay protection set is applicable in all series of cells, indoor and outdoor installations.

Keywords: reed switch, protection, thermistor, photodiode, LED, relay.

МРНТИ 44.29.31

**Ж. Б. Исабеков¹, А. Н. Новожилов², Т. Н. Новожилов³,
Л. Б. Тюлюгенова⁴, *А. Б. Жантлесова⁵**

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

³Омский государственный технический университет, Российская Федерация, г. Омск

⁵ Казахский государственный университет им. С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

*e-mail: asbizh@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

ЗАЩИТА СИЛОВОГО КАБЕЛЯ СОЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПЛАВУЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ ОТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

В данной статье рассматривается вопрос совершенствования защиты четырехжильного силового кабеля соледобывающей плавучей платформы оснащенной автоматическим выключателем с независимым расцепителем. Совместное использование этого автоматического выключателя и предлагаемого устройства защиты позволяет не только надежно защитить силовой кабель плавучей платформы от всех видов короткого замыкания в нем, но и обслуживающий персонал этой платформы от поражения электрическим током при возникновении однофазного замыкания на землю, возникающего в водной среде водоема. Это достигается за счет того, что устройство защиты от однофазного замыкания на землю имеет датчик напряжения, выполненный в виде металлического кольца на силовом кабеле и реле напряжения. При

этом один из выводов обмотки реле напряжения с помощью одножильного контрольного кабеля присоединен к датчику напряжения, а другой к нейтрали источника питания соледобывающей плавучей платформы. В свою очередь нормально разомкнутые контакты этого реле напряжения присоединяются к электрической цепи из источника питания и катушки независимого расцепителя автоматического выключателя. Что позволяет предлагаемому устройству защиты силового кабеля соледобывающей плавучей платформы надежно реагировать на возникновение однофазного замыкания на землю при повреждении изоляции кабеля, находящегося в водной среде водоема.

Ключевые слова: плавучая платформа, четырехжильный кабель, нейтраль, устройство защиты, автоматический выключатель, датчик напряжения

Введение

В низковольтных сетях напряжением 380 В для питания передвигающихся по земле и воде электроустановок используется резиновый четырехпроводный кабель. При этом сеть выполняется с глухо заземленной нейтралью. При этом, как правило, нейтраль со стороны источника питания заземляется [1;2]. Такое исполнение сети позволяет использовать для питания трехфазных и однофазных электроустановок как междуфазное, так и фазное напряжения.

В связи с этим в электроустановках, передвигающихся по земле, повреждение оболочки кабеля и изоляции одной из жил кабеля не вызывает короткого замыкания (КЗ). Повреждение изоляции двух или трех жил этого кабеля сопровождается возникновением в месте повреждения трехфазного, двухфазного или однофазного КЗ [3;4;5]. Токи КЗ в жилах кабеля значительно превышают токи в них в нормальных режимах работы электроустановки. Поэтому в соответствии с ПУЭ [6] для защиты таких сетей от КЗ следует использовать аппараты защиты [7] в виде предохранителей [8] или автоматических выключателей [9].

В сети передвижной низковольтной соледобывающей платформы повреждение оболочки кабеля и изоляции нескольких жил кабеля также сопровождается возникновением разного вида КЗ. Однако, при

одновременном повреждении оболочки кабеля и изоляции только одной из фазных жил кабеля возникает однофазное замыкание на землю. Токи при таком замыкании значительно меньше номинальных токов электроустановки, так как в этом случае замыкание происходит через землю и солевой раствор водоема. Поэтому на их появление аппараты защиты в виде предохранителей или автоматических выключателей не реагируют.

В соответствии с [10;11] основным способом защиты от однофазного замыкания на землю и защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током в передвижных электроустановках является постоянный контроль изоляции кабеля относительно земли в сочетании с быстродайствующим защитным отключением. Для осуществления такого контроля изоляции в сетях напряжением 230 В или 380 В в сетях промышленной частоты может использоваться аппарат типа ПКИ-2. Он подключается к фазам источника питания и его корпусу. Его работа основана на измерении напряжения между искусственно созданной нулевой точкой и корпусом. Что ограничивает его область применения, так как в сети соледобывающей платформы обычно используется однофазная нагрузка в виде освещения, приводящая к смещению искусственно созданной нулевой точкой, а, следовательно, к ложной работе ПКИ-2.

Этого недостатка лишено устройство защиты четырехжильного силового кабеля соледобывающей плавучей платформы от однофазного замыкания, работа которого основана на измерении напряжения между заземленной нейтралью источника питания и точкой замыкания, расположенной на поверхности соленой воды в водоеме.

Материалы и методы

Внешний вид системы электроснабжения соледобывающей плавучей платформы, в которой используется четырехжильный силовой кабель, показан на рисунке 1. Она имеет источник 1 питания в виде трехфазного трансформатора [6]. Его высоковольтная обмотка подключается к воздушной линии 2 электропередачи. Со стороны низковольтного напряжения она с помощью четырехжильного силового кабеля 3 подключается к внутренней сети соледобывающей плавучей платформы 4. Жилы 5, 6 и 7 этого кабеля подключаются к фазам А, В и С источника 1 питания. Жила 8 подключается к нейтрали N источника 1 питания со

стороны низкого напряжения трансформатора. Эти жилы имеют не только собственную изоляцию 9, но и оболочку 10 кабеля 3. Для обеспечения плавучести четырехжильного силового кабеля 3 при перемещении соледобывающей плавучей платформы 4 по поверхности водоема 11 на него надеваются поплавки 12. В качестве датчика напряжения защиты используется металлическое кольцо 13.

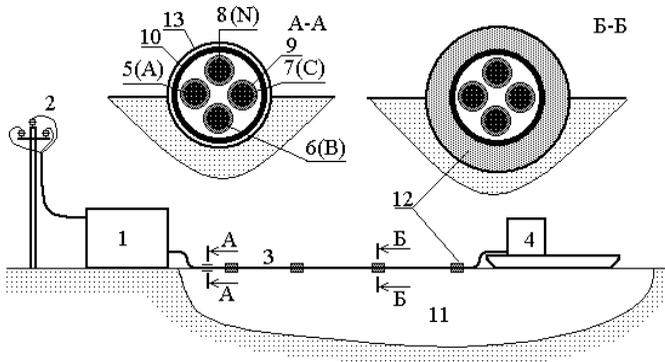


Рисунок 1 – Система электроснабжения соледобывающей плавучей платформы

Электрическая схема электроснабжения соледобывающей плавучей платформы 4 и защиты четырехжильного силового кабеля 3 приведена на рисунке 2. Из нее видно, что нейтраль 14 вторичной обмотки 15 трехфазного трансформатора 16 присоединяется к его металлическому баку 17 трансформатора и заземляется. Кроме этого к ней с помощью нулевой жилы 8 кабеля присоединяется металлический корпус плавучей платформы 4. Вторичная обмотка 15 с помощью автоматического выключателя 18 через жилы 5, 6 и 7 подключается к внутренней сети соледобывающей плавучей платформы 4, состоящей из трехфазной 19 и однофазной 20 нагрузки. Обмотка реле 21 напряжения защиты одним выводом присоединяется к нейтрали 14 источника 1 питания соледобывающей плавучей платформы, а другим выводом с помощью контрольного кабеля 22 к датчику 13 напряжения. Контакты реле 21 включают в цепь питания обмотки 23 дистанционного расцепителя автоматического выключателя 18.

Во всех нормальных эксплуатационных режимах работы соледобывающей плавучей платформы из-за целостности собственной изоляции 9 жил 5-7 и оболочки 10 той части кабеля 3, которая находится в воде водоема 11, однофазное замыкание жилы в соленой воде водоема 11 произойти не может. Поэтому растекание этого тока в этой воде водоема отсутствует. При этом напряжение между нейтралью 14 источника питания 1 и датчиком 13 напряжения, а также ток в обмотке реле 21 напряжения будут равны нулю. В связи с этим контакты этого реле и цепь питания обмотки 23 дистанционного расцепителя автоматического выключателя 18 остаются разомкнутыми, а сам автоматический выключатель будет находиться во включенном состоянии.

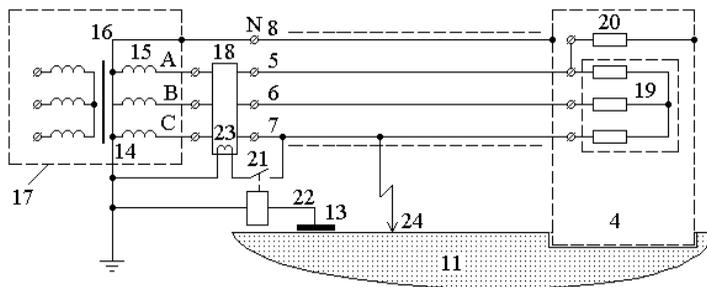


Рисунок 2 – Электрическая схема электроснабжения соледобывающей плавучей платформы и защиты силового кабеля

Результаты и обсуждения

В результате многочисленных перемещений соледобывающей плавучей платформы по поверхности водоема изоляция четырехжильного силового кабеля довольно часто повреждается. При повреждении собственной изоляции 9, например, жилы 7 и оболочки 10 в той части кабеля 3, которая находится в воде водоема 11 происходит однофазное замыкание этой жилы на соленую воду водоема 11 точке. В связи с этим в соленой воде водоема 11 происходит растекание тока однофазного замыкания. При этом напряжение между нейтралью 14 источника питания 1 и датчиком 13 напряжения, а также ток в обмотке реле 21 напряжения становятся не равными нулю. Реле напряжения 21 защиты сработает. Его контакты замкнутся. В цепи питания обмотки 23 дистанционного

расцепителя автоматического выключателя 18 появится ток, который вызовет срабатывание независимого расцепителя и отключение автоматического выключателя 18. Как правило, время срабатывания автоматического выключателя мало. Что позволяет быстро и надежно защитить обслуживающий персонал от поражения электрическим током.

Экспериментальная проверка работоспособности разработанной защиты силового кабеля соледобывающей плавучей платформы от однофазного замыкания на землю проведенная на предприятии ТОО «Мультисервис» показала, что данная защита надежно срабатывает при возникновении этого вида замыкания в любой точке кабеля.

Информация о финансировании.

Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23486411).

Выводы

Предлагаемое устройство защиты силового кабеля соледобывающей плавучей платформы позволяет надежно защитить обслуживающий персонал этой платформы от поражения электрическим током при возникновении однофазном замыкании кабеля на землю в любой точке этого кабеля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 350 с.

2 Кацман, М. М. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 2004. – 464 с.

3 **Беркович, М. А., Молчанов, В. В., Семенов, В. А.** Основы техники релейных защит. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.

4 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 1991. – 495 с.

5 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н. В. – М.: Энергия, 1974. – 680 с.

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

7 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты.–М.: Энергия, 1975 – 647 с.

8 **Лившиц, Д. С.** Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В. – М.: Энергия, 1967. – 74 с.

9 Автоматические выключатели – устройство, характеристики. [Электронный ресурс]. – URL: <https://elektroshkola.ru/apparatu-zashhity/avtomaticheskie-vyklyuchateli/> [дата обращения: 20.07.2024].

10 **Кораблев, В. П.** Устройства электробезопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 87 с.

11 **Тонь R.** Kuphaldt and John Haugbery. Applied Industrial Electricity. [Electronic resource]. – URL: <https://iastate.pressbooks.pub/electriccircuits/> [Accessed: 20.07.2024].

REFERENCES

1 Spravochnik po proektirovaniyu e`lektroe`nergeticheskix sistem / Pod red. S. S. Rokotyana i I. M. Shapiro [Handbook on the design of electric power systems]. – 3-e izd. – М.: Energoatomizdat, 1985. – 350 p.

2 **Kaczman, M. M.** E`lektricheskie mashiny` [Electric machines]. – Moscow: Higher education, 2004. – 464 p.

3 **Berkovich, M. A., Molchanov, V. V., Semenov V. A.** Osnovy` texniki relejny`x zashhit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow: Energoatomizdat, 1984. – 232 p.

4 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Higher education, 1991. – 495 p.

5 **Chernobrovov, N. V.** Relejnaya zashhita [Relay protection]. – 4-e izdanie [Text] / Chernobrovov N.V. – Moscow : Energy, 1974. – 680 p.

6 Pravila ustrojstva e`lektroustanovok. Vse dejstvuyushhie razdely` shestogo i sed`mogo izdaniy s izmeneniyami i dopolneniyami po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2013 g. [Rules for the installation of electrical installations. All current sections of the sixth and seventh editions with amendments and additions as of January 1, 2013] – М.: KNORUS, 2013. – 488 p.

7 Chunixin, A. A. E`lektricheskie apparaty`. [Electrical devices]. – М.: Energy, 1975. – 647 p.

8 Livshhicz, D. S. Nagrev provodnikov i zashhita predoxranitelyami v e`leketrosetyax do 1000 V. [Conductor heating and fuse protection in power grids up to 1000 V]. – М.: Energy, 1967. – 74 p.

9 Avtomaticheskie vy`klyuchateli – ustrojstvo, karakteristiki. [Circuit breakers – device, characteristics]. [Electronic resource]. – URL: <https://elektroshkola.ru/apparaty-zashhity/avtomaticheskie-vyklyuchateli/> [Accessed: 20.07.2024].

10 Korablev, V. P. Ustrojstva e`lektrobezopasnosti. [Electrical safety devices]. – М.: Energoatomizdat, 1985. – 87 p.

11 Tony R. Kuphaldt and John Haughey. Applied Industrial Electricity. [Electronic resource]. – URL: <https://iastate.pressbooks.pub/electriccircuits/> [Accessed: 20.07.2024].

*Ж. Б. Исабеков¹, А. Н. Новожилов², Т. Н. Новожилов³,
Л. Б. Тюлюгенова⁴, *А. Б. Жантілесова⁵*

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

³Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Омбы қ.

⁵Қазақ мемлекеттік университеті. С. Сейфуллина,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

ТҮЗ ӨНДІРЕТІН ҚАЛҚЫМАЛЫ ПЛАТФОРМАНЫҢ ҚУАТ КАБЕЛІН БІР ФАЗАЛЫ ЖЕРГЕ ТҰЙЫҚТАЛУДАН ҚОРҒАУ

Бұл мақалада тәуелсіз ажыратқышы бар автоматты ажыратқышпен жабдықталған тұз өндіретін қалқымалы платформаның төрт ядролы қуат кабелін қорғауды жетілдіру мәселесі қарастырылады. Бұл ажыратқышты және ұсынылған қорғаныс құрылғысын ортақ пайдалану қалқымалы платформаның қуат кабелін ондағы қысқа тұйықталудың барлық түрлерінен сенімді қорғауға ғана емес, сонымен қатар су қоймасының сулы ортасында пайда болатын бір фазалы жерге тұйықталу пайда

болған кезде осы платформаның техникалық қызмет көрсету персоналын электр тогының соғуынан қорғауға мүмкіндік береді. Бұған бір фазалы жерге тұйықталудан қорғау құрылғысында қуат кабелі мен кернеу релесінде металл сақина түрінде жасалған кернеу сенсоры болғандықтан қол жеткізіледі. Бұл жағдайда кернеу релесінің орамасының бір терминалы кернеу датчигіне, ал екіншісі тұз өндіретін қалқымалы платформаның қуат көзінің бейтараптығына қосылады. Өз кезегінде, бұл кернеу релесінің қалыпты ашық контактілері электр тізбегіне қуат көзінен және тәуелсіз ажыратқыш катушкасынан қосылады. Бұл ұсынылған тұз өндіретін қалқымалы платформаның қуат кабелін қорғау құрылғысына су қоймасының Сулы ортасында орналасқан кабельдің оқшаулауы зақымдалған кезде жерге бір фазалы тұйықталудың пайда болуына сенімді жауап беруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: қалқымалы платформа, төрт ядролы кабель, бейтарап, қорғаныс құрылғысы, ажыратқыш, кернеу сенсоры.

Z. B. Issabekov¹, A. N. Novozhilov¹, T. N. Novozhilov³, L. B. Tyulyuganova¹,
*A. B. Zhantlessova⁵

^{1,2,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk

⁵Kazakh State University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana

PROTECTION OF THE POWER CABLE OF A SALT-PRODUCING FLOATING PLATFORM FROM A SINGLE-PHASE EARTH FAULT

This article discusses the issue of improving the protection of a four-core power cable of a salt-producing floating platform equipped with an automatic switch with an independent release. The combined use of this circuit breaker and the proposed protection device allows not only to reliably protect the power cable of the floating platform from all types of short circuits in it, but also the maintenance personnel of this platform from electric shock in the event of a single-phase earth fault occurring in

the aquatic environment of the reservoir. This is achieved due to the fact that the single-phase earth fault protection device has a voltage sensor made in the form of a metal ring on the power cable and a voltage relay. In this case, one of the terminals of the voltage relay winding is connected to the voltage sensor using a single-core control cable, and the other to the neutral of the power source of the salt-producing floating platform. In turn, the normally open contacts of this voltage relay are connected to the electrical circuit from the power source and the coil of the independent circuit breaker release. This allows the proposed device for protecting the power cable of a salt-producing floating platform to reliably respond to the occurrence of a single-phase earth fault if the insulation of the cable located in the aquatic environment of the reservoir is damaged.

Keywords: floating platform, four-core cable, neutral, protection device, circuit breaker, voltage sensor

МРНТИ 50.47.29

Д. К. Кайдагулов¹, *Р. М. Несмеянова², С. Р. Масакбаева³¹ТОО «Павлодарский нефтехимический завод»,

Республика Казахстан, г. Павлодар

^{2,3}НАО «Торайгыров университет»,

Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5323-8802>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5949-4023>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ В ПЕЧАХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Стабильность горения топлива в печах при первичной перегонке нефти является основой эффективного, безопасного и отвечающего нормам экологии производства энергии. Данное исследование посвящено изучению сложной динамики устойчивости горения и подчеркивает возможности симуляторов на базе языка Python в анализе, оптимизации, изучении и управлении этим процессом. Важность таких подходов особенно актуальна при рассмотрении эффективности и безопасности операций с топливом в промышленных масштабах. Использование ПИД-регулятора в рамках технологических усовершенствований подчеркивает роль корректировки в реальном времени параметров расхода топлива и температуры. Благодаря тщательному итерационному подходу, охватывающему 10 000 циклов, в исследовании показана эффективность интегрированной системы в обеспечении оптимальной стабильности горения. Полученные результаты позволяют повысить энергоэффективность и укрепить меры безопасности, внося существенный вклад в

существующий массив знаний в области нефтехимической промышленности.

Эмпирические данные, визуализированные в виде динамических графиков, наглядно показывают возможности системы. Об адаптивности системы свидетельствует взаимосвязь динамики температуры и расхода топлива, обеспечивающая поддержание оптимальных параметров сгорания. Более того, согласованное взаимодействие компонентов ПИД-регулятора еще раз подтвердило потенциал системы как трансформационного решения задач первичной перегонки нефти.

Ключевые слова: трубчатые печи, устойчивость горения, ПИД-регуляторы, энергоэффективность, система обратной связи.

Введение

В нефтехимической отрасли, характеризующейся сложными процессами и неуклонным стремлением к эффективности, важную роль играет процесс первичной перегонки нефти, который является основой для многочисленных последующих операций. В этой сложной системе стабильность горения является основным фактором, определяющим не только эффективность процесса перегонки, но и общую безопасность всего производства.

Стабильность горения, по сути, представляет собой сложно организованный комплекс параметров: расход топлива, динамика температуры и эффективность горения. Эти параметры, при всей их кажущейся независимости, глубоко интегрированы друг в друга, причем возмущения одного из них часто каскадно отражаются на других. Именно эта взаимозависимость делает поиск стабильности одновременно сложным и необходимым. Настоящее исследование посвящено этой проблеме и направлено на то, чтобы проникнуть в глубину сложных процессов динамики горения, раскрыть существующие закономерности и, что еще важнее, предложить надежное технологическое решение.

Необходимость проведения данного исследования обусловлена двумя причинами. Во-первых, существует ощутимая потребность в исследовании принципов горения, изучении его динамики и выявлении факторов, влияющих на его стабильность или отсутствие таковой. Во-вторых, что,

пожалуй, более актуально, существует острая потребность в инструменте, механизме, который мог бы не только моделировать эту динамику в контролируемой среде, но и предлагать в реальном времени решения, обеспечивающие стабильность. Именно на этом стыке понимания и поиска решений и возникает наша модель на языке Python, обещающая как понимание, так и вмешательство.

Материалы и методы

Последние достижения в области анализа и управления процессами горения направлены в первую очередь на обеспечение эффективной, безопасной и экологичной работы. Исследователи применяют различные методы, начиная от оптических сканеров пламени, модельного прогнозирующего управления и заканчивая полуконтролируемыми моделями обучения. С течением времени технический прогресс привел к появлению инновационных методов и систем мониторинга и управления процессами горения [1].

Появление оптических сканеров пламени, особенно при запуске энергетических котлов, свидетельствует о трансформационном сдвиге в области контроля горения [2]. В работе [2] автор отметил ключевую роль сканеров пламени в системах контроля пламени (СКП), подчеркнув, что их механизм основан на обнаружении электромагнитного излучения, испускаемого пламенем. В качестве примера можно привести сканер PARAGON 105F1-1 компании FIREYE Inc. [2], который демонстрирует превосходные возможности анализа пламени в реальном времени.

Обеспечение безопасности при проведении процессов горения не подлежит обсуждению. О тонкостях этого процесса свидетельствует информация автора [3]. В систему умело интегрированы такие компоненты, как вентиляторы продувочного воздуха и регулирующие заслонки [3], что подчеркивает целостную конструкцию системы, обеспечивающую безопасность на различных этапах эксплуатации.

Область модельного прогнозирования прослеживает обширную технологию, развиваясь от основополагающих схем, таких как линейно-квадратичное гауссовское управление, до современных версий. В исследовании [4] подробно описаны проблемы, с которыми сталкивались ранние алгоритмы управления, такие как ограничения и нелинейность процесса. Автором подчеркиваются ограничения, но в то же время

акцентируется неизменная актуальность ПИД-регулирования (ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный) в современном производственном секторе [4].

Авторами исследования [5] рассматривается процесс создания модели в контексте Model Predictive Control для управления процессами в переработке нефти. Исследование включает несколько этапов, обеспечивающих точность и эффективность управления. В основе MPC лежит динамическая модель процесса, которая позволяет предсказывать будущее состояние системы на основе текущих данных. В ходе полученных результатов, модель может показать: прогнозируемые отклики, оптимальные управляющие воздействия, влияние ограничений, управление рисками, что, в свою очередь, применимость данного подхода при первичной переработке нефти, обеспечивая повышение производительности, снижение затрат и улучшение качества продукции при одновременном соблюдении требований безопасности и экологических стандартов [5].

Объединение машинного обучения с анализом горения открыло новую эру точности прогнозирования. Следует отметить исследование [6], иллюстрирующее модель полуконтролируемого обучения с использованием визуализации пламени. Эта модель оригинально объединяет многослойный автокодировщик с понижающим коэффициентом усиления и генеративную состязательную сеть, а затем использует классификатор гауссовых процессов для точного прогнозирования состояния.

В условиях стремительного технического прогресса такие традиционные решения, как ПИД-регулирование, сохраняют свою значимость в промышленных процессах. В работе [7] вновь обращается внимание на неизменную полезность и эффективность ПИД-регуляторов. Автор также рассматривает такие проверенные временем методы определения параметров регуляторов, как метод Циглера-Николса и метод Коэна и Куна, подчеркивая их эмпирическую обоснованность и неизменную актуальность.

В работах [1–7] представлена широкая картина исследований в области анализа и контроля горения – от тонкостей работы сканеров пламени до сложности моделей машинного обучения. По мере развития

этой области она готова и дальше гармонично сочетать проверенные временем методы с авангардными инновациями, постоянно повышая стандарты эффективности, безопасности и точности.

Суть настоящего исследования заключается в методологическом подходе, тщательно разработанном с учетом сложной динамики устойчивости горения. Методология основана на интеграции системы датчиков обратной связи, специально разработанной для мониторинга, анализа и реагирования на переменные параметров горения в реальном времени, что позволяет обеспечить оптимальную стабильность процесса первичной перегонки нефти.

Суть программы заключена в моделировании работы печи с основной целью контроля ее температуры. Он использует механизм ПИД-регулирования для регулирования потока топлива и, таким образом, контроля температуры печи. Печь имеет клапан для регулировки подачи топлива, а на процесс ее сгорания влияют такие факторы, как расход топлива, качество топлива и внешняя динамика. Программа также моделирует меры безопасности, такие как механизмы охлаждения и защитные отключения.

Используются следующие формулы, определяющие выделение и потери тепла (1) – (4).

Количество тепла, выделяемое в результате сгорания (1).

$$Q_{\text{generation}} = F_{\text{rate}} \cdot H_{\text{fuel}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{generation}}$ – выделение тепла; F_{rate} – скорость потока топлива; H_{fuel} – теплота сгорания топлива.

Потери тепла в окружающую среду представлены изменением температуры с течением времени (2).

$$Q_{\text{loss}} = C_{\text{furnace}} \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

где Q_{loss} – потери тепла; C_{furnace} – теплоемкость печи; ΔT – изменение температуры; Δt – изменение во времени.

Скорость сгорания с учетом качества топлива составляет (3).

$$R_{\text{combustion}} = Q_{\text{fuel}} \cdot F_{\text{rate}} \quad (3)$$

где $R_{\text{combustion}}$ – скорость сгорания; Q_{fuel} – качество топлива.

В программе используется ПИД-регулятор (пропорционально–интегрально–производный) для поддержания желаемой температуры путем регулирования расхода топлива. Управляющее действие заключается в следующем (4):

$$U = K_p \cdot E + K_i \cdot \sum E + K_d \cdot \left(\frac{\Delta E}{\Delta t} \right) \quad (4)$$

где U – управляющее воздействие; K_p , K_i и K_d – пропорциональный, интегральный и производный коэффициенты усиления соответственно; E – разница между желаемой и фактической температурой; $\sum E$ – интеграл ошибки с течением времени; $\left(\frac{\Delta E}{\Delta t} \right)$ – скорость изменения ошибки.

Регулируемые параметры:

- желаемая температура (в программе рассматривается 1000 К);
- желаемый расход топлива (в программе рассматривается 1,5 кг/с).

Внешняя динамика:

- температура окружающей среды (рассматривается 300 К);
- коэффициент теплопотерь;
- теплоемкость печи.

Цель программы. Программа предназначена для моделирования работы печи в различных условиях и управления ее температурой с помощью ПИД-регулятора. Это позволяет пользователям:

- узнать, как различные факторы, такие как поток топлива, качество топлива и внешняя динамика, влияют на температуру печи;
- проверить и настроить работу ПИД-регулятора при регулировании температуры печи;
- наблюдать за работой механизмов безопасности и охлаждения, гарантируя, что печь работает в желаемых пределах;
- определять температуру и скорость потока топлива с течением времени с помощью графиков.

Программа обеспечивает фундаментальное понимание работы печи и механизмов управления, открывая путь для более сложного

моделирования, которое может учитывать больше переменных или различные методологии управления.

Основу нашей экспериментальной установки составляет интегрированная система обратной связи с датчиками. Эта система представляет собой совокупность современных оптических, акустических и температурных датчиков. Каждый датчик выполняет свою задачу: оптические датчики фиксируют визуальные нюансы пламени, акустические датчики определяют тонкие изменения в шуме горения, свидетельствующие о нестабильности, а температурные датчики в режиме реального времени передают данные о внутренней температуре печи. Эта триада датчиков непрерывно передает данные в систему обратной связи, оснащенную ПИД-регулятором. Контроллер обрабатывает данные и в режиме реального времени корректирует расход топлива, забор воздуха и конфигурацию горелки, обеспечивая стабильность горения даже при внешних возмущениях.

Основу эксперимента составляет печь, предназначенная для первичной перегонки нефти. Печь оснащена горелками, конфигурация которых может быть изменена в реальном времени на основании показаний датчиков. К печи прикреплены встроенные датчики, каждый из которых стратегически расположен таким образом, чтобы собирать данные с максимальной точностью. Система управления с обратной связью, представляющая собой сложную технологию, взаимодействует непосредственно с печью, регулируя параметры в зависимости от показаний датчиков. Для имитации реальных условий были получены образцы сырой нефти различного качества, что позволило всесторонне оценить адаптивность системы.

Началом эксперимента стал запуск печи с базовой конфигурацией горелки с использованием образца сырой нефти известного качества. Затем начинался процесс дистилляции. Для оценки эффективности системы обратной связи с датчиками вводились преднамеренные возмущения, имитирующие возможные возмущения в реальном мире. Эти возмущения варьировались от колебаний подачи топлива до резкого изменения количества поступающего воздуха. При возникновении этих возмущений проводился тщательный мониторинг выходных сигналов датчиков для оценки их способности к обнаружению. Одновременно включалась

система управления с обратной связью и оценивалась ее реакция на вносимые возмущения, чтобы убедиться в ее способности противостоять им и восстановить стабильное горение. Этот процесс повторялся для образцов нефти разного качества, что позволило получить целостную оценку устойчивости и адаптивности системы.

В основе данного исследования лежала гипотеза о том, что интегрированная система обратной связи с датчиками будет не только обнаруживать нестабильности процесса сгорания в реальном времени, но и эффективно противодействовать им. Предполагалось, что при обнаружении любой нестабильности система управления с обратной связью будет оперативно вносить необходимые коррективы для восстановления стабильного горения. Кроме того, учитывая вариации качества нефти, эксперимент был направлен на определение адаптивности системы, предполагая, что ее эффективность может меняться в зависимости от качества нефти.

Результаты и обсуждение

Актуализация теоретических основ исследования заключается в процессе его реализации – этапе, характеризующемся точностью, итерационными доработками и неуклонным стремлением к воспроизведению реальных условий. В данном разделе описывается путь от разработки концепции до ее реализации, дается представление о реальных шагах, предпринятых для воплощения в жизнь интегрированной сенсорной системы обратной связи.

Этап проектирования начался со всесторонней оценки наиболее совершенных датчиков, доступных на рынке. Учитывая большое количество переменных, участвующих в процессе горения, необходимо было выбрать датчики, обеспечивающие точность без ущерба для времени отклика. Выбранные оптические датчики были способны улавливать все тонкости пламени, различая даже мельчайшие колебания его структуры. Акустические датчики были оснащены функцией шумоподавления, обеспечивающей регистрацию только специфических звуков горения. Температурные датчики, предназначенные для работы в условиях высокой интенсивности, обеспечивали получение подробных данных, позволяя контролировать состояние внутренней среды печи в режиме реального времени.

Этапы реализации включали оценку и интеграцию современных датчиков для точного мониторинга процессов горения, что, в сочетании со сложными ПИД-регуляторами и программированием на языке Python, позволило создать интегрированную систему обратной связи [8; 9]. Эта система не только обеспечивает реальное управление процессом в реальном времени, но и демонстрирует точность вмешательства.

После выбора эти датчики были интегрированы в единую систему обратной связи, управляемую сложным ПИД-регулятором. Контроллер, запрограммированный на языке Python, являлся основным элементом системы: он обрабатывал данные с датчиков, рассчитывал необходимые настройки и передавал команды на печь в режиме реального времени.

Выбранная печь, предназначенная для первичной перегонки нефти, подверглась точной калибровке, чтобы убедиться в том, что она правильно реагирует на команды системы обратной связи. Каждая горелка была протестирована отдельно и в паре с другими горелками, после чего были произведены настройки для обеспечения равномерности реакции. Затем были установлены встроенные датчики, обеспечивающие оптимальный сбор данных. После этого система обратной связи, подключенная по высокоскоростным кабелям, была синхронизирована с блоком управления печи, что ознаменовало завершение этапа наладки.

После создания установки была проведена экспериментальная работа. Каждая итерация начиналась с ввода пробы нефти и настройки горелок в соответствии с ее известными свойствами. Для обеспечения надежности полученных результатов эксперимент проводился на нескольких образцах сырой нефти, каждый из которых представлял собой индивидуальный случай. По мере начала процесса дистилляции вводились преднамеренные возмущения, имитирующие возможные нестабильности. Данные с датчиков в реальном времени непрерывно поступали в систему обратной связи. ПИД-регулятор, обрабатывая эти данные, вычислял необходимые корректировки – модулировал расход топлива, изменял забор воздуха или перенастраивал горелки. Каждый ответ регистрировался, что позволяло получить полный набор данных для последующего анализа.

Внедрение методик глубокого обучения для идентификации состояний горения и измерения скорости выделения тепла, показало высокую точность и скорость обработки данных, подчеркивая потенциал

данной модели для решения сложных задач управления в реальных производственных условиях [10]. Были построены динамические графики (рисунок 1 и 2), демонстрирующие взаимосвязь между внутренней температурой печи, расходом топлива и вносимыми возмущениями. Такая визуализация позволила не только получить оперативную информацию о работе системы, но и послужила мощным инструментом для последующего анализа.

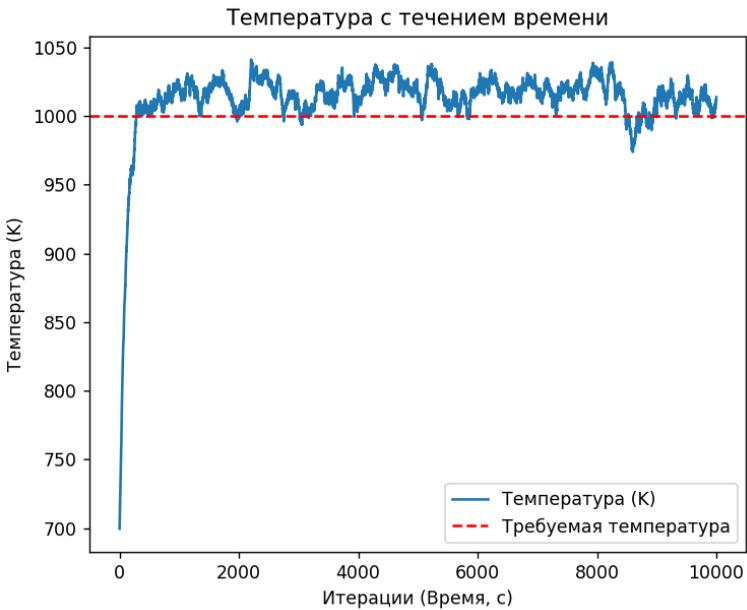


Рисунок 1 – График зависимости температуры от времени (количества итераций)

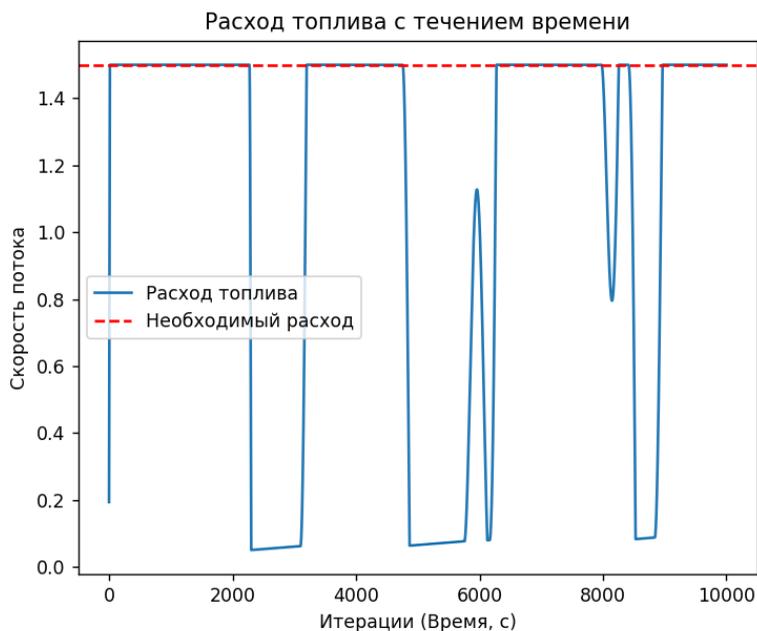


Рисунок 2 – График расхода топлива от времени (количества итераций)

В ходе реализации проекта был получен ряд графиков, каждый из которых дает уникальное представление о динамике процесса горения под воздействием интегрированной системы «датчик – обратная связь».

Подробно обсуждая представленные графики, выясним основные тенденции и их последствия. Первый график (рисунок 1) представляет собой визуальное отображение внутренней температуры печи на протяжении всех итераций. Кривая прослеживает траекторию движения температуры, показывая ее реакцию на вводимые возмущения и корректирующие действия системы обратной связи. Пики и впадины на графике соответствуют преднамеренным нестабильностям и последующему вмешательству системы. Цель такой визуализации – оценить эффективность системы обратной связи в поддержании стабильности температуры, особенно в условиях внешних возмущений. На втором графике (рисунок 2) показана динамика изменения расхода топлива во времени. Волнообразность кривой отражает непрерывную

корректировку подачи топлива системой обратной связи в ответ на обнаруженные отклонения температуры. Этот график свидетельствует об адаптивности системы, демонстрируя ее способность динамически регулировать расход топлива для достижения требуемой стабильности горения.

Сложности, связанные с обеспечением стабильности горения при первичной перегонке нефти, представляют собой многосторонние проблемы, начиная от эксплуатационной неэффективности и заканчивая вопросами безопасности. В данном исследовании предпринята попытка решения этих проблем, центральным элементом которой является интегрированная система обратной связи с датчиками. Как показано в исследовании, эта система, дополненная ПИД-регулятором с точной настройкой, позволила выявить и устранить нестабильность процесса горения в реальном времени, независимо от качества сырой нефти и вносимых возмущений.

Эмпирические данные, визуализированные в виде динамических графиков, наглядно демонстрируют возможности системы. Свидетельством адаптивности системы является взаимосвязь между динамикой температуры и расходом топлива, обеспечивающая поддержание оптимальных параметров горения. Более того, согласованное взаимодействие компонентов ПИД-регулятора еще больше подтвердило потенциал системы как преобразующего решения для задач первичной перегонки нефти.

Выводы

Проведенные исследования, основанные на применении интегрированной системы обратной связи с датчиками, позволили получить значительные результаты, касающиеся стабильности горения при первичной перегонке нефти. Полученные в ходе эксперимента данные в реальном времени, в частности, динамика температуры и расхода топлива, подтвердили способность системы оперативно обнаруживать и устранять возмущения горения. Особо следует отметить адаптивность системы, которая подстраивалась под различные качества нефти и устойчиво противостояла преднамеренным возмущениям.

При более глубоком изучении работы ПИД-регулятора стало очевидным гармоничное взаимодействие пропорциональной,

интегральной и дифференциальной составляющих. Данный алгоритм позволяет своевременно и пропорционально воздействовать на систему, обеспечивая оптимальную устойчивость горения. Более широкие последствия данного исследования позволяют говорить о возможности его применения в реальных процессах дистилляции, повышая эффективность работы и безопасность.

Таким образом, данное исследование не только раскрывает тонкости стабильности горения, но и открывает путь к развитию инновационных технологий в области первичной перегонки нефти. Интегрированная система датчиков и обратной связи, если ее потенциал будет использован в полной мере, способна произвести кардинальные изменения в отраслевых стандартах, объединив операционное совершенство с повышенными требованиями к безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Yelishala, S. C.** Effect of Carbon Dioxide on the Laminar Burning Speed of Propane–Air Mixtures [Text] / S. C. Yelishala, Z. Wang, H. Metghalchi, Y. A. Levendis, K. Kannaiyan, R. Sadr // *Journal of Energy Resources Technology*. – 2019. – Vol. 141. – P. 1–9.

2 **Nabaglo, D.** The use of optical flame scanners for combustion process analysis in OP-650 power boiler [Text] / D. Nabaglo, P. Podgorski, T. Janda, P. Sokolowski // *Archivum Combustionis*. – 2015. – Vol. 35. – №. 2. – P. 99–116.

3 **Smahi, A.** Upgrading Burner Management System (Implementation of Burner Flame Sensors) Case Study: Hot Oil Heater CPF Menzel Ledjmet East [Text] / A. Smahi // *Academic Master Thesis in Electronic (Embedded System), Science and Technology*. – 2022. – 139 p.

4 **Qin, S. J.** A survey of industrial model predictive control technology [Text] / S. J. Qin, T. A. Badgwell // *Control Engineering Practice*. – 2003. – №. 11. – P. 733–764.

5 **Elamurugan, P.** Analysis of Multivariable Controller for Fluid Catalytic Cracking Unit in a Petroleum Refinery [Text] / P. Elamurugan, K. Siva // *Journal of Advances in Chemistry*. – 2016. – Vol. 12. – №. 18. – P. 5088–5095.

6 **Han, Z.** Prediction of combustion state through a semi-supervised learning model and flame imaging [Text] / Z. Han, J. Li, B. Zhang, Md. M. Hossain, C. Xu // Fuel, – 2021. – Vol. 289. – P. 1–5.

7 **Suryaprakash, C.** Fopid Implementation for Industrial Process [Text] / C. Suryaprakash J. M. Kishorelal, U. Gururagavan, S. Gokulan, A. B. Singh // International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. – 2014. – Vol. 2. – № 4 – P. 1420–1424.

8 **Huth, M.** Fuel flexibility in gas turbine systems: impact on burner design and performance [Text] / M. Huth, A. Heilos // Modern Gas Turbine Systems. – 2013. – Vol. 14. – P. 635–684.

9 **Sun, D.** Quantitative Assessment of Flame Stability Through Image Processing and Spectral Analysis [Text] / D. Sun, G. Lu, H. Zhou, Y. Yan, S. Liu // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2015. – Vol. 64. – № 12. – P. 3323–3333.

10 **Wang, Z.** Deep Learning based Monitoring of Furnace Combustion State and Measurement of Heat Release Rate [Text] / Z. Wang, C. Song, T. Chen // Energy. – 2017. – Vol. 131. – P. 106–112.

¹Д. К. Кайдагулов, ^{2*}Р. М. Несмеянова, ²С. Р. Масакбаева

¹«Павлодар мұнай-химия зауыты» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²«Торайғыров университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

МҰНАЙДЫ БІРІНШІЛІК АЙДАУ ПЕШТЕРІНДЕ ПИД- РЕТТЕГІШТЕРДІ ҚОЛДАНУМЕН ЖАНУ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ

Мұнайды біріншілік айдау кезінде пештерде отынның жану тұрақтылығы энергияны өндірудің тиімді, қауіпсіз және экология нормаларына сай болатын негізі болып табылады. Осы зерттеу жану тұрақтылығының күрделі динамикасын зерттеуге арналған және бұл процесті талдауда, оңтайландыруда, зерттеуде және

басқаруда Python тілі базасындағы үдеткіштердің мүмкіншіліктеріне көңіл аударады. Мұндай тәсілдердің маңыздылығы өнеркәсіптік масштабтарда отынмен орындалатын операциялардың тиімділігі мен қауіпсіздігін қарастырғанда ерекше өзекті болады. ПИД-реттегішті технологиялық кемелдендіру шеңберінде қолдану отын мен температураның шығын параметрлерін нақты уақытта түзетудің ролін көрсетеді. 10 000 циклдан тұратын мұқият итеративті әдіс арқасында, зерттеуде тиімді жану тұрақтылығын қамтамасыз етуде интегралдау жүйесінің тиімділігі көрсетілген. Алынған нәтижелер, мұнайхимия өнеркәсібі саласындағы бар білім массивіне елеулі үлесін қосумен энергиялық тиімділікті көтеруге және қауіпсіздік шараларын нығайтуға мүмкіншілік береді.

Динамикалық графиктер түрінде көрнекіленген эмпирикалық деректер жүйенің мүмкіншіліктерін көрнекі көрсетеді. Жүйенің бейімділігі жайлы, жанудың тиімді параметрлерінің сақталуын қамтамасыз ететін температураның динамикасы мен отынның шығыны арасындағы байланыс дәлелдейді. Сондай-ақ, ПИД-реттегіштің компоненттерінің келісімді әрекеттестігі жүйенің потенциалының мұнайды біріншілік оңдеудің міндеттерін түрленімді шешетінін тағы бір рет дәлелдейді.

Кілтті сөздер: құбырлы пештері, жану тұрақтылығы, ПИД-реттегіштер, энергия тиімділігі, кері байланыстың жүйесі.

¹D. K. Kaidagulov, ^{2*}R. M. Nesmeyanova, ²S. R. Massakbayeva

¹«Pavlodar Oil Chemistry Refinery» LLP,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar c.

²NJSC «Toraighyrov University»,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar c.

ANALYSIS AND OPTIMISATION OF COMBUSTION STABILITY IN PRIMARY DISTILLATION FURNACES USING PID CONTROLLERS

The stability of fuel combustion in primary distillation furnaces is the basis for efficient, safe and environmentally friendly energy production. This research explores the complex dynamics of combustion stability and highlights the potential of Python-based simulators in analysing, optimising, learning and controlling this process. The importance of such approaches is particularly relevant when considering the efficiency and safety of fuel operations on an industrial scale. The use of PID control within process improvements emphasises the role of real-time adjustment of fuel flow and temperature parameters. Through a rigorous iterative approach covering 10,000 cycles, the study demonstrates the effectiveness of the integrated system in providing optimal combustion stability. The results improve energy efficiency and safety measures, making a significant contribution to the existing body of knowledge in the petrochemical industry.

Empirical data visualised as dynamic plots clearly show the capabilities of the system. The adaptability of the system is evidenced by the coupling of temperature and fuel flow dynamics, which ensures that the optimal combustion parameters are maintained. Moreover, the coordinated interaction of the PID controller components once again confirmed the potential of the system as a transformational solution to the problems of primary oil distillation.

Keywords: tube furnaces, combustion stability, PID controllers, energy efficiency, feedback system.

МРНТИ 37.01.94

***С. Н. Камарова¹, В. Л.Исаев², Е. Г. Нешина³**

¹ Карагандинский индустриальный университет, Республика Казахстан, г. Темиртау

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

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1187-4638>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

*e-mail: cfekt.rfvfhidf@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКРУББЕРАМИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

В данной статье представлены методы расчета известных конструкций скрубберов Вентури «Сибэлком», для выявления условий обеспечения скрубберами экологической чистоты дымовых газов тепловых электрических станции. Обеспечения экологической безопасности выбросов дымовых газов является формирование идеального топочного процесса с полным окислением элементов в составе рабочего топлива, с полным его тепловыделением и применением скрубберов способных удалять вредные газовые компоненты.

Методика определения параметров дымовых газов включает в себя несколько ключевых этапов, которые помогают оптимизировать выбор и конструкцию скруббера. Расчет расходов газа и жидкости, а также скорости их движения — это важный аспект для обеспечения эффективного взаимодействия между фазами. Определение оптимальных геометрических параметров скруббера, таких как диаметр, высота и форма, позволяет увеличить площадь поверхности контакта, что повышает

эффективность процесса очистки. Анализ процессов массообмена и переноса массы в скруббере, дает возможность оценить его способность к удалению загрязняющих веществ из дымовых газов, а также сделать анализ затрат на проектирование, установку и эксплуатацию скруббера, чтобы определить его экономическую целесообразность с точки зрения снижения затрат на очистку дымовых газов.

Использование этих методов позволяет разработать оптимальный дизайн скруббера, который обеспечивает эффективную очистку дымовых газов и соответствует требованиям экологической безопасности.

Ключевые слова: скруббер, дымовые газы, труба Вентури, топочный процесс, пылезолоунос.

Введение

Скруббер является устройством для очистки дымовых газов ТЭЦ [1; 2 с. 113] и котельных, сжигание твердых, жидких и газообразных топлив в котлах требует комплексного подхода к проектированию и эксплуатации оборудования. Котлы, работающие на комбинированном топливе, должны проектироваться с учетом специфических характеристик каждого типа топлива. Комбинирование различных видов топлива может способствовать снижению вредных выбросов в атмосферу, что особенно актуально в условиях строгого экологического законодательства.

Свойство дымовых газов определяет топочный процесс в топке, вид сжигаемого топлива. Сложный состав имеют дымовые газы при сжигании рабочей массы твердых топлив: каменных и бурых углей. Состав угля [3, с.18] определяет его поведение при сжигании, чем выше содержание углерода и водорода, тем выше теплотворная способность угля.

В процессе сжигания топлива происходит окисление углерода, водорода и серы. Окисление углерода приводит к образованию (CO_2), а окисление водорода к образованию воды (H_2O). Постоянный доступ кислорода необходим для поддержания этих реакций.

При сжигании мазута или других жидких топлив могут образовываться нестойкие продукты, такие как маслянистые смолы,

которые могут влиять на систему сжигания и требовать дополнительной обработки, например, улавливания

Сжигание природного газа считается более чистым по сравнению с углём и мазутом, благодаря его более высоким показателям теплотворности и низкому содержанию серы.

Характерной структурной схемой конструкции скруббера является скруббер Вентури. Скруббер Вентури «Сибэлком» [4, сс. 72-74] включает трубу Вентури. В верхней зоне трубы Вентури выполнен прямоточный каплеуловитель и горловина для вывода очищенных дымовых газов, в нижней зоне трубы Вентури выполнен бак-отстойник очищенных выбросов дымовых газов. К трубе Вентури «Сибэлком» тангенциально установлен конфузорно-диффузорный подвод дымовых газов из газохода котла, в горловине конфузора установлено брызгальное устройство для орошения входящих дымовых газов осветленной водой из бака-отстойника, подаваемой насосом.

Материалы и методы

Известны конструкции скрубберов «Планета ЭКО» [5] и другие типы скрубберов [6; 7]. Общая схема очистки дымовых газов от пылезолоуноса в этих конструкциях заключается в использовании центробежного потока дымовых газов из тангенциального подвода диффузора. Под действием центробежной силы пылегазовый поток разделяется, тяжелые пылевые включения пылезолоуноса прижимаются центробежной силой к увлажненным стенкам трубы Вентури и смываются внизсходящим потоком в бак-отстойник.

Скрубберы Вентури являются важной технологией для очистки дымовых газов от твердых частиц, таких как зола, а также других загрязняющих веществ [8]. Скруббер Вентури с регулируемым сечением состоит из конвергентной и дивергирующей частей, создающих изменение давления, когда дымовые газы проходят через горловину происходит увеличение скорости дымовых газов и падение давления, что создает условия для образования вихрей. Эти вихревые потоки обеспечивают эффективное взаимодействие между газами и жидкостями.

Для обеспечения эффективной очистки дымовых газов от окислов углерода, азота и серы, а также от золоуноса, необходимо проведение химического анализа дымовых газов и определение температуры дымовых

газов. Комплексный подход к расчету и проектированию скрубберов для эффективной очистки дымовых газов включает в себя анализ исходных данных, выбор подходящей конструкции, гидродинамические расчеты, системы удаления золы и создание механизмов мониторинга и управления процессами.

В зависимости от состава дымовых газов и требуемой степени очистки выбирается тип скруббера: водяной, щелочной, сухой и т. д. Необходимо определить расход воды, скорость движения газа и жидкости в скруббере, размеры скруббера и др. Проводится расчет эффективности очистки скруббера, исходя из его конструкции и параметров работы. Проводится анализ затрат на проектирование, установку и эксплуатацию скруббера для оценки его экономической целесообразности. На основе проведенных расчетов и анализа выбирается оптимальный вариант скруббера, который обеспечивает необходимую степень очистки дымовых газов с учетом экономических и экологических факторов.

Идеальный топочный процесс характеризуется полной переработкой топлива, что означает, что все его компоненты окисляются полностью, и отсутствуют остаточные продукты сгорания. В реальной эксплуатации возникают различные факторы (температура, давление, качество топлива и его состав), которые приводят к неполному сгоранию и образованию дымовых газов.

Таким образом, негативные для экологической обстановки среды обитания свойства сложных дымовых газов зависят от свойств составляющих оксидов и пылезолоуноса. Обеспечение экологических норм выбросов в дымовых газах осуществляют их очисткой скрубберами-устройствами очистки. Функции скруббера включают функции удаления пылезолоуноса и нейтрализации полных окислов. Конструкции скрубберов характерны заложенными в них функциями.

Основными функциями всех конструкций скрубберов является:

- отделение смеси окислов, содержащихся в сложных дымовых газах от пылезолоуноса;
- нейтрализация каждого конечного окисла;
- удаления загрязнений из дымовых газов либо по отдельности (пылезолоунос и газовые окислы), либо в составе смеси.

Разработка новых технологий или улучшение существующих, таких как скрубберы на основе мембранной технологии, фильтровальных систем, а также комбинированных очисток (например, использование каталитических реакторов в сочетании со скрубберами). Комбинирование нескольких технологий очистки в единую систему, позволяющую более точно управлять процессами удаления различных типов загрязняющих веществ, включая полное осаждение углерода и азота. Поиск и использование более эффективных химических реагентов для нейтрализации и удаления CO_2 и NO_x может значительно повысить общую эффективность системы.

Скрубберы играют важную роль в уменьшении выбросов и очистке дымовых газов, однако улучшение их возможностей в нейтрализации углерода и азота, а также в достижении более полного удаления золоуноса является задачей для научных исследований и инженерных разработок. Постоянное обновление технологий и внедрение новых методов очистки являются необходимыми шагами для достижения устойчивых экологических стандартов.

Результаты и обсуждение

В основу методики расчета скруббера Вентури лежит закон Бернулли (1), который устанавливает зависимость скорости идеального газового потока, его давления в различных сечениях трубы Вентури при прохождении дымовых газов:

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{\vartheta_1^2}{2} = gZ_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{\vartheta_2^2}{2} \quad (1)$$

Удельная механическая энергия жидкости — это энергия, которая относится к единице массы жидкости. Она включает в себя различные компоненты, представляющие потенциальную и кинетическую энергию. Удельная энергия жидкости есть энергия, отнесенная к единице ее массы [10], где gZ - удельная энергия положения; $\frac{p}{\rho}$ - удельная энергия давления, энергия демонстрирует, на какую высоту может подняться данный объем жидкости при отсутствии других сил — это отношение давления к плотности дает представление о потенциальной энергии, связанной с давлением; $gZ + \frac{p}{\rho}$ - удельная потенциальная энергия жидкости; $\frac{\vartheta^2}{2}$ -

удельная кинетическая энергия жидкости, отражает кинетическую энергию жидкости, связанную с её движением. Чем выше скорость, тем больше кинетическая энергия

Полная удельная механическая энергия идеальной движущейся жидкости:

$$H \cdot g = Z \cdot g + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (2)$$

Уравнение (1) после преобразований приводится к размерности давления (Па):

$$\rho g Z_1 + P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \rho g Z_2 + P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (3)$$

где $\rho g Z$ - весовое давление;

P - гидростатическое давление;

$\frac{\rho v^2}{2}$ - динамическое давление.

В реальном потоке вязкой жидкости распределение скоростей в сечении неравномерное.

Допускаем, что гидростатический напор в сечении потока для всех точек рассматриваемого сечения одинаковый:

$$Z + \frac{P}{\rho g} = \text{const}$$

Уравнение Бернулли, как известно, описывает, как изменяются различные формы энергии в потоке жидкости. В случае с вязкими жидкостями, уравнение адаптируется с учетом потерь энергии на трение и неравномерности распределения скоростей $\alpha = \frac{v_g}{v_{ng}}$, есть отношение действительной кинетической энергии потока вязкой жидкости к ее значению при равномерном распределении скоростей в идеальной жидкости:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \cdot \frac{v_{cp1}^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \cdot \frac{v_{cp2}^2}{2g} + \sum hn, \quad (4)$$

где hn – потери энергии, включают все потери, связанные с трением, изменениями направления, расширением и сжатием потока, а также расходами на работу оборудования.

Уравнение Бернулли для струйки идеальной жидкости (1, 2, 3) есть закон сохранения механической энергии, для реальной жидкости это уравнение баланса энергии с учетом потерь (4) [10, с. 71].

Для анализа движения дымовых газов с пылезолоуносом в трубе Вентури используются механические принципы, описывающие динамику потоков в трубопроводах и особенности скрубберов. Движение дымовых газов с пылезолоуносом в трубе Вентури создает сложный поток, в котором участвуют инерция, гравитация и центробежные силы. При вращении потока газов вокруг вертикальной оси (ось oZ) возникают центробежные силы, которые влияют на частицы пыли и другие вещества в потоке. Вихревое движение газов может быть представлено как спиральное, где частицы движутся вдоль винтовой траектории. Инерционное взаимодействие, обозначенное как $\Delta N_{ин}$, учитывает изменения скорости и направления потока в осевом и радиальном направлениях.

Движение частицы пылезолоуноса по винтовой линии цилиндра скруббера Вентури можно рассмотреть, как сложение двух условно равномерных движений. Движение частицы как k -той материальной точке в относительном прямолинейном движении по линии oZ образующей цилиндра:

$$Z_k = f(Z(t)), \quad (5)$$

и переносное движение цилиндра вместе с k -той точкой во вращательном движении вокруг неподвижной оси oZ :

$$\omega_k = f(\omega(t)). \quad (6)$$

Совмещение двух движений, уравнения (5), (6), представляет движение k -той точки по винтовой линии. Степень очистки от пылезолоуноса в дымовых газах определяет разница между исходной

суммарной массой частиц пылезолоуноса и интенсивностью убывания массы частиц при выпадении в бак-отстойник.

Сила инерции $\frac{\omega^2 \cdot r}{g}$ на единицу веса, работа этой силы при перемещении вдоль радиуса на расстоянии dr равно: $\frac{\omega^2 \cdot r \cdot dr}{g}$, но при перемещении от радиуса r_1 до r_2 по кривой есть работа этих сил:

$$\frac{\omega^2}{g} \int_{r_1}^{r_2} r \cdot dr$$

После интегрирования получим инерционный напор [9], с.38:

$$\Delta N_{\text{ин}} = \frac{\omega^2}{2 \cdot g} (r_1^2 - r_2^2) \quad (7)$$

Методика расчета движения дымовых газов с пылезолоуносом характеризуется учетом в реальном потоке потери удельной энергии hn в уравнении Бернулли (4) и инерционного потока $\Delta N_{\text{ин}}$ (7).

Выводы

Таким образом, методика расчета движения дымовых газов с пылезолоуносом включает учет потерь удельной энергии в реальном потоке и инерционного потока. При движении газов через скруббер происходят потери энергии из-за трения газа о стенки и другие препятствия, а также из-за перемешивания газа и жидкости. Эти потери учитываются в уравнении Бернулли, которое описывает энергетические изменения в потоке. Инерционный поток возникает из-за изменения направления движения газа внутри скруббера, например, из-за изгибов, сужений или расширений каналов. Поток газа обладает инерцией, и при изменении направления движения часть энергии теряется в результате инерции газа.

Учет этих факторов в методике расчета позволяет более точно определить движение дымовых газов с пылезолоуносом внутри скруббера. Точные расчеты потерь энергии и инерционного потока играют ключевую роль в проектировании и оптимизации скрубберов. Максимизация эффективности очистки дымовых газов уменьшает токсичность выбросов и способствует соблюдению экологических норм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Голицын, А. Н.** Основы промышленной экологии [Текст]. - М.: Издательский центр «Академия», 2011. -240 с.

2 **Кормина, Л. Н., Полянская, А. А.** Пути интенсификации процесса золоулавливания выбросов дымовых газов теплоэнергетических установок [Текст] // Ползуновский Вестник. 2014. – №3. – С. 201–202.

3 **Шарапов, Р. Р., Харламов, Е. В., Агарков, А. М.** Влияния объема аспирируемого воздуха инерционного концентратора на эффективность пылеулавливания [Текст] // Механизация строительства. – 2017. Т. 78. № 11. С. 26-29.

4 Effect of venturi tube structure parameters on degradating rhodamine b dye wastewater with hydrodynamic cavitation technique [Текст] // Zhongbei daxue xuebao (ziran kexue ban), 2017. - №1. – P. 72-77.

5 Форсуночные скрубберы, насадочные и полые: разбор насадок, плюсы и минусы [Электронный ресурс] – URL: <https://fakel-f.ru/blog/forsunochnye-skrubbery> (Дата обращения: 27.04.2024)

6 Системы скрубберов [Электронный ресурс] – URL: <https://ergil.com/ru/sistemy-skrubberov/> (Дата обращения: 27.04.2024)

7 **Чалов, В. А.** Теоретическое обоснование конструктивного совершенствования центробежного пылеуловителя [Текст] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2011. № 4. С. 68–70.

8 **Вольчин, И. А.** Влияние уровня нагрузки котлоагрегата ТЭС и расхода орошающей воды на эффективность мокрого скруббера Вентури [Текст] // Энергетика и электрификация. – 2012. – № 10. – С. 24-28.

9 **Уваров, В. А., Подпоринов, Б. Ф., Семиненко, А. С.** Методы и средства очистки вентиляционных выбросов [Текст]. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. - 96 с.

10 **Панин, В. Ф., Сечин, А. И., Федосова, В. Д.** Экология: Общеэкологическая концепция биосферы и экономические рычаги преодоления Глобального экологического кризиса: учебник для вузов [Текст]. - Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2014. - 327 с.

REFERENCES

1 **Golicyn, A. N.** Osnovy promyshlennoj ekologii [Fundamentals of industrial ecology]. - Moscow: Publishing center «Academy», 2011. -240 p.

2 **Kormina, L. N., Polyanskaya, A. A.** Puti intensivizatsii processa zoloulavlivaniya vybrosov dymovyh gazov teploenergeticheskikh ustanovok [Ways to intensify the process of ash collection of flue gas emissions from thermal power plants] [Text] // Polzunovskiy Vestnik. 2014. - No. 3. – R. 201-202.

3 **SHarapov, R. R., Harlamov, E. V., Agarkov, A. M.** Vliyaniya ob"ema aspiriruemogo vozduha inercionnogo koncentratora na effektivnost' pileulavlivaniya [The effect of the volume of aspirated air of the inertial concentrator on the efficiency of dust collection] [Text] // Mechanization of construction. - 2017. Vol. 78. No. 11. R. 26-29.

4 Effect of venturi tube structure parameters on degrading rhodamine b dye wastewater with hydrodynamic cavitation technique [Text] // Zhongbei daxue xuebao (ziran kexue ban), 2017. - No. 1. - R. 72-77.

5 Forsunochnye skrubbery, nasadochnye i polye: razbor nasadok, plyusy i minusy [Nozzle scrubbers, nozzle and hollow: disassembly of nozzles, pros and cons] [Electronic resource] - URL: <https://fakel-f.ru/blog/forsunochnye-skrubbery> (Date of access: 04/27/2024)

6 Sistemy skrubberov [Scrubber systems] [Electronic resource] – URL: <https://ergil.com/ru/sistemy-skrubberov/> (Access date: 04/27/2024)

7 **CHalov, V. A.** Teoreticheskoe obosnovanie konstruktivnogo sovershenstvovaniya centrobezhnogo pileulovitelya [Theoretical justification of the constructive improvement of the centrifugal dust collector] [Text]. // Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. - 2011. № 4. R. 68 -70.

8 **Vol'chin, I. A.** Vliyanie urovnya nagruzki kotloagregata TES i raskhoda oroshayushchej vody na effektivnost' mokrogo skrubbera Venturi [The influence of the load level of the TPP boiler unit and the flow of irrigation water on the effectiveness of the wet Venturi scrubber] [Tekst] // Energy and electrification. - 2012. - № 10. – R. 24-28.

9 **Uvarov, V. A., Podporinov, B. F., Seminenko, A. S.** Metody i sredstva ochistki ventilyacionnyh vybrosov [Methods and means of cleaning ventilation emissions] [Text]. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2013. - 96 p.

10 **Panin, V. F., Sechin, A. I., Fedosova, V. D.** Ekologiya: Obshcheekologicheskaya koncepciya biosfery i ekonomicheskie rychnagi preodoleniya Global'nogo ekologicheskogo krizisa: uchebnik dlya vuzov [Ecology: The general biological concept of the biosphere and economic levers to overcome the Global environmental crisis; review of modern principles and methods of protecting the biosphere: textbook for universities] [Text]. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University. unita, 2014. - 327 p.

*С. Н. Камарова¹, В. Л. Исаев², Е. Г. Нешина³

¹Қарағанды индустриалды университеті,
Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

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

ТҮТІН ГАЗДАРЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗАЛЫҒЫН СКРУББЕРЛЕРМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ШАРТТАРЫН АНЫҚТАУ ҮШІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ

Бұл мақалада жылу электр станцияларының түтін газдарының экологиялық тазалығын скрубберлермен қамтамасыз ету шарттарын анықтау үшін "Сибелком" Вентури скрубберлерінің белгілі конструкцияларын есептеу әдістері келтірілген. Түтін газдары шығарындыларының экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету жұмыс отынының құрамындағы элементтердің толық тотығуымен, оның толық жылу шығаруымен және зиянды газ компоненттерін кетіруге қабілетті скрубберлерді қолданумен тамаша от жағу процесін қалыптастыру болып табылады.

Түтін газының параметрлерін анықтау әдістемесі скрубберді таңдау мен дизайнды оңтайландыруға көмектесетін бірнеше негізгі қадамдарды қамтиды. Газ бен сұйықтықтың шығынын, сондай — ақ олардың қозғалу жылдамдығын есептеу фазалар арасындағы тиімді өзара әрекеттесуді қамтамасыз етудің маңызды аспектісі болып табылады. Диаметрі, биіктігі және

нішіні сияқты скруббердің оңтайлы геометриялық параметрлерін анықтау жанасу бетінің ауданын ұлғайтуға мүмкіндік береді, бұл тазалау процесінің тиімділігін арттырады. Скруббердегі масса алмасу және масса тасымалдау процестерін талдау оның түтін газдарынан ластаушы заттарды кетіру қабілетін бағалауға, сондай-ақ түтін газын тазарту шығындарын азайту тұрғысынан оның экономикалық орындылығын анықтау үшін скрубберді жобалау, орнату және пайдалану шығындарын талдауға мүмкіндік береді.

Бұл әдістерді қолдану түтін газдарын тиімді тазартуды қамтамасыз ететін және экологиялық қауіпсіздік талаптарына сәйкес келетін скруббердің оңтайлы дизайнын жасауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: скруббер, түтін газдары, Вентури құбыры, жылыту процесі, шаңсорғыш.

* S.N. Kamarova¹, V.L. Isaev², E.G. Neshina³

¹ Karaganda Industrial University, Republic of Kazakhstan, Temirtau

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

CALCULATION METHOD FOR IDENTIFYING CONDITIONS FOR ENSURING ENVIRONMENTAL CLEANLINESS OF FLUE GASES BY SCRUBBERS

This article presents methods for calculating well-known designs of Sibelcom Venturi scrubbers to determine the conditions for ensuring the environmental friendliness of flue gases of thermal power plants with scrubbers. Ensuring the environmental safety of flue gas emissions consists in the formation of an excellent ignition process with complete oxidation of elements in the working fuel, its full heat release and the use of scrubbers capable of removing harmful gas components.

The method for determining flue gas parameters includes several basic steps that will help optimize the selection and design of the scrubber. The calculation of the flow rate of gas and liquid and the speed of their movement is an important aspect of ensuring effective interaction between phases. Determining the optimal geometric parameters of the scrubber, such as diameter, height and shape, allows you to increase the contact surface area, which increases the efficiency of the cleaning process. Analysis of the processes of mass transfer and mass transfer in the scrubber allows you to assess its ability to remove pollutants from flue gases, as well as analyze the costs of designing, installing and operating the scrubber to determine its economic feasibility in terms of reducing flue gas treatment costs.

The use of these methods allows you to create an optimal design of the scrubber, which provides effective flue gas purification and meets environmental safety requirements.

Keywords: scrubber, flue gases, Venturi pipe, furnace process, dust removal.

**Карымсакова И.Б.¹, Бекенова Б.Д.², *Оспанов Е. А.³,
Кожаметова Д. О.⁴, Туменов А. С.⁵**

^{1,3,4} *Shakarim University, Қазақстан Республикасы, Семей*

² *Turan-Astana University, Қазақстан Республикасы, Астана*

⁵ *ЖШС «Aurum Bytes», Қазақстан Республикасы, Алматы*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-3188>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9302-6047>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1222-0202>

E-mail: 78oea@mail.ru

ОНКОЛОГИЯЛЫҚ АУРУЛАРДЫ ЕМДЕУДЕ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ҰСЫНЫСТАР БЕРУ БОЙЫНША НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ ҚҰРУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Бүгінгі таңда Семей өңіріндегі өзекті мәселелердің бірі Семей ядролық полигонындағы ядролық сынақтардың салдары болып табылады. Оның салдарының бірі-аймақтағы онкологиялық аурулардың жоғары пайызы. Халықтың әртүрлі жас санаттары ауруға бейім. Осыған байланысты онкологиялық ауруларды ерте анықтау және олардың алдын алу маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Бұл мақаланың негізгі идеясы Семей өңірінде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша ұсыныстар беру және талдау үшін жасанды нейрондық желі негізінде зияткерлік жүйе модулін құру болып табылады. Ерекшелігі Семей өңірінде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша Өзін-өзі оқыту, талдау және ұсыныстар беру үшін хопфилд әдісімен нейрондық желіні құру негізінде жасанды интеллект жүйесінің модулін әзірлеу болып табылады.

Осы зерттеуге бағытталған мәселе-Семей өңірінде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша талдау жасау және

ұсынымдар беру үрдісінің дәлдігін қамтамасыз етуге және ұлғайтуға мүмкіндік беретін интеллектуалды жүйе модулін құру. Құрылатын нейрожелінің кірісіне қауіпті ісік ауруларды емдеу хаттамасы бойынша берілетін сауалдарға жауаптары бар мәліметтер беріледі. Модульді құру процесінде салынған желі турақты жұмыс істейтіні анықталды. Мұндай желі көмегімен алынған жауаптарды вектор түрінде беру және одан кейінгі зерттеулер үшін мәліметтер алуға болады.

Кілттік сөздер: ақпараттық жүйелер, жасанды интеллект, нейрондық желі, математикалық модуль, талдау, интеллектуалды жүйелер, мәліметтер базасы.

Кіріспе.

Қазіргі кезде Семей өңіріндегі актуалды мәселелердің бірі Семей ядролық полигонындағы бірнеше жылдар бойы өткізілген сынақтардың салдары болып табылады. Оның салдарының бірі-аймақтағы онкологиялық аурулардың жоғары пайызы. Халықтың әртүрлі жас санаттары ауруға бейім. Сондықтан қатерлі ісік ауруларын алдын-ала анықтау және олардың алдын алу маңызды мәселелердің бірі болып табылады.

Өңірде қатерлі ісік ауруларын анықтауда көмектесетін, ұсынымдар жасай алатын қосымшаның модулін құру осы саладағы көптеген үрдістерді жеңілдетуге мүмкіндік ереді.

Бұл зерттеудің идеясы өзін-өзі оқыту, талдау және Семей өңірінде қатерлі ісік ауруларын емдеу бойынша ұсыныстар беру үшін Хопфилд әдісімен нейрондық желіні құру негізінде жасанды интеллект жүйесінің модулін әзірлеу болып табылады.

Зерттеулер мақсаты ретінде қатерлі ісік ауруларын анықтау бойынша диагноз қойып, ұсынымдар жасайтын ақпараттық жүйенің модулін құру қарастырылған.

Зерттеулер пәнаралық сипатта болады.

Хопфилд желісін қолдана отырып, интеллектуалды жүйенің сұраныстарын өңдеу үшін нейрондық желінің математикалық моделі құрылады.

Ғылыми жаңалық-Семей өңірінде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша ұсынымдар беру және талдау үшін зияткерлік технологияның ғылыми негіздерін әзірлеу.

Идеяның өткен зерттеулерден айырмашылығы-Семей өңірінде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша Өзін-өзі оқыту, талдау және ұсыныстар беру үшін Хопфилд желісімен нейрондық желіні құру негізінде жасанды интеллект жүйесінің модулін әзірлеу.

Жұмыс нәтижелері өңірде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша ұсыныстар беру және талдау үшін жасанды интеллектті қолдану технологияларын дамытуға елеулі үлес қосады.

Материалдар мен әдістер

Негізгі ғылыми мәселелер- қатерлі ісік ауруларын талдауда диагноз қойып, ұсынымдар жасауға мүмкіндік беретін қосымшаның модулін құру.

Нейрожеліні қолдана отырып ақпараттық жүйенің модулі құрылады.

Қатерлі ісікті анықтау және талдау бойынша мәліметтер базасы құрылады.

Модульді құру барысында модельдеу әдістері қолданылады.

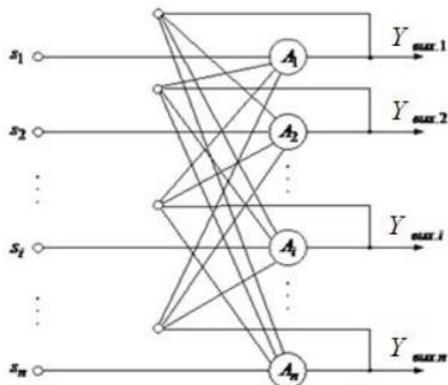
Нәтижелер және талқылау

Шеішім қабылдау жүйелерінде нейрожелілер кеңінен қолданыста. Сұрақ- жауап форматында құрылатын желілерде Хопфилд нейрожелілері кеңінен қолданылады.

Хопфилд нейрожелісі ол толық байланысқан нейрондық желілердің бір түрі болып табылады. Оларда симметриялық байланыс матрицалары негізін құрады. Нейрожелінің өзгеруі тепе-теңдікке жуықталынады. Олар алдын-ала анықталады.

Бұл нейрожеліні ассоциативті жады ретінде пайдалануға болады. Хопфилд желісі тепе-теңдікке жеткенге дейін жұмыс істейді [1-5].

Хопфилд желісі үш қабатты пайдаланады: кіріс қабаты, Хопфилд қабаты және шығыс қабаты. Нейрожелі кіріс қабаттарының өзгеруі 1-суретте көрсетілген.



Сурет – 1 Хопфилд желісінің құрылымы

Жұмыс істеу барысында желі мәліметтері кіріс қабатынан бекітілген салмақтар бірігулері арқылы Хопфилд желісіне жібереді[6-12].

Желі есте сақтай алатын бейнелер саны Хопфилд желісінегі нейрондар санының шамамен 15 %-н құрайды ($\kappa \cdot 0.15$). Желінің әрбір нейроны бар екі күйдің біреуін қабылдай алады.

Екі нейронды, екі тұрақты жағдайы болатын, $[1 \ -1]$ және $[-1 \ 1]$ арасындағы векторлармен көрсетуге болатын желіні келесідей құруға болады:

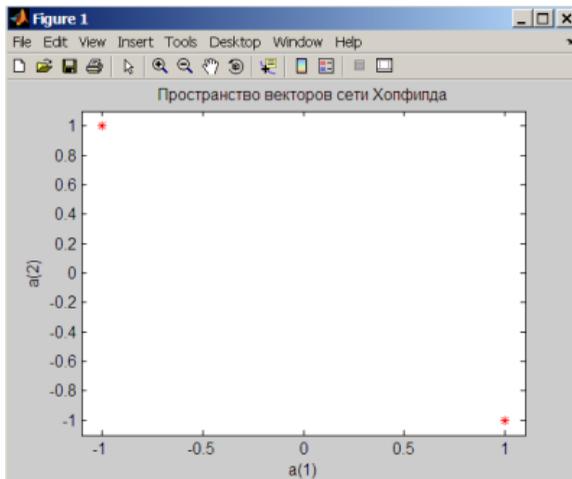
- » $R = [+1 \ -1; -1 \ +1];$
- » $\text{plot}(R(1, :), R(2, :), 'r*');$
- » $\text{axis}([-1.1 \ 1.1 \ -1.1 \ 1.1]);$
- » $\text{title}(\text{'Простанство векторов сети Хопфилда'});$
- » $\text{xlabel}(\text{'a(1)'});$
- » $\text{ylabel}(\text{'a(2)'});$

Кіріс ақпаратына const нүктелеріне сәйкес келетін мәндерді берейік.

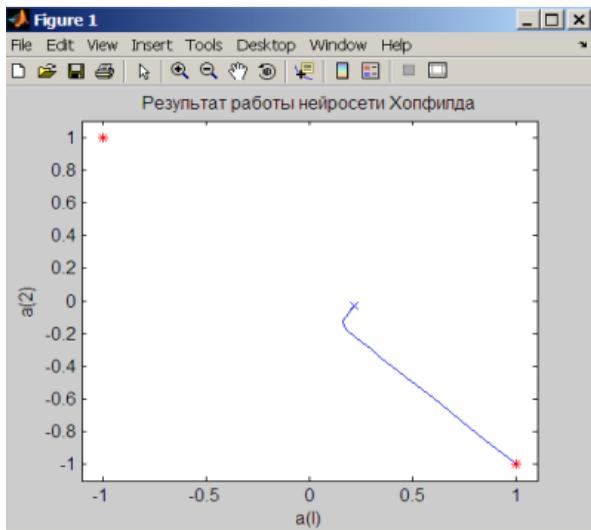
- » $H = \text{newhop}(T);$ % Хопфилд нейрожелісін құру
- » $[Y, Pf, Af] = \text{sim}(H, 2, [], T);$ Y % Y = -1 -1 1 Хопфилд желісіне сауалнама жасау

Нейрондық желі жұмысының дұрыстығын тексергеннен кейін, оның кірісіне кез-келген векторды беруге болады. Сұрақтарға жауаптарды а векторына сактайық. Кіріс ақпараты ретінде науқастарға қойылған сұрақтарға жауаптарды екілік түрде өрнектеп, MSSQL ДҚБЖ-дан аламыз(2,3-сур).

```
» a = {rands (2, 1)}; % a = [2x1 double] векторын беру
» [y,Hf,Df] = sim (O, {1 50}, {}, a);
» plot(R(1, :), R(2, :), 'r*');
» axis([-1.1 1.1 -1.1 1.1]);
» record = [cell2mat(a) cell2mat(y)];
» start = cell2mat(a);
» hold on;
» plot (start (1,1), start (2,1),' bx', record(1, :), record(2, :));
» xlabel('a(1)'); ylabel('a(2)');
» title ('Результат работы нейросети Хопфилда');
```



Сурет – 2 Хопфилд желісінің тұрақты нүктелері



Сурет – 3 Хопфилд желісінің жұмыс нәтижесі

Бұл программада нейронның бір бөлігі құрылып, оның дұрыстығы тексерілді, кіріс ақпараты ретінде сауалнамаларға жауаптар векторлары беріліп, нейрожелі тұрақты жұмыс атқаратыны анықталды.

Нейрожелі бөлігіне жауаптар мәндерінің векторлары беріліп, желінің дұрыс жұмыс істейтіні анықталды. Мұндай құрылған нейрожелі бөлігі арқылы жүйенің жауаптарын мәндер векторы түрінде енгізіп, нәтижелер алуға болады.

Қорытынды

Осы зерттеуге бағытталған мәселе- қатерлі ісік ауруларын алдын-ала талдау, емдеу бойынша талдаулар жасау үшін, және де ұсынымдар беру үрдістерін жақсарту мәселесі болып табылады. Зерттеулер барысында нейрожелі көмегімен сауалнамаларға жауаптардың мәндерін кіріс ақпараты арқылы алып, нейрожелінің дұрыс жұмыс жасайтыны анықталды. Кейіннен сауалнамаларға жауаптар мәндерін толықтырып, бүкіл мәліметтер қорына осы нейрожеліні қолданып, нәтижелер алуға болады.

Мақала Қазақстан Республикасы Жоғары Білім және Ғылым министрлігінің 2024-2026 жылдарға арналған Ғылыми және ғылыми-техникалық жобалар бойынша ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыруға арналған жобасы шеңберінде орындалды. ЖРН АР 23485656 - Семей өңірінде онкологиялық ауруларды емдеу бойынша ұсыныстар беру және талдау үшін нейрондық желі негізінде зияткерлік жүйені әзірлеу.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Гафаров, Ф.М., Галимянов, А.Ф.** Искусственные нейронные сети и их приложения [Мәтін] // Казань, Издательство Казанского университета, 2018. -85 с.

2 **Доррер, М. Г.** Моделирование нейронных сетей в системе Matlab [Мәтін] // Красноярск, 2021. -98 с.

3 **Сердюк, А. А.** «Компьютерные системы искусственного интеллекта» [Мәтін] // Краматорск, 2017. -112с.

4 **Николаева, С. Г.** Нейронные сети. Реализация в MATLAB [Мәтін] // Казань, 2015. -92 с.

5 **Вакуленко, С. А., Жихарева А. А.** Практический курс по нейронным сетям [Мәтін] // Санкт-Петербург, 2018. -71 с.

6 **Каргер, Дж.** Нейросети [Мәтін] // Москва, ЛитРес, 2023. -225 с.

7 **Лекун, Я.** Как учится машина. Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения [Мәтін] // Москва, Альпина Про, 2021. -423 с.

8 **Рашид, Т.** Создаем нейронную сеть [Мәтін] // Москва, Диалектика - Вильямс, 2019. - 271 с.

9 **Николенко, С., Кадурын, А., Архангельская, Е.** Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей [Мәтін] // Питер, 2018.–481 с.

10 **Яхьяева, Г.** Нечеткие множества и нейронные сети [Мәтін] // Москва, Бином, 2008.- 320 с.

11 **Каллан, Р.** Основные концепции нейронных сетей [Мәтін] //Питер, 2013. -293 с.

12 **Guido J. Deboeck.** Visual Explorations in Finance: With Self-Organizing Maps (Springer Finance) [Text]. 2021.-385 p.

REFERENCES

1 **Gafarov, F.M., Galimyanov, A.F.** Iskusstvennye neyronnye seti i ih prilozheniya [Artificial neural networks and their applications] [Text], Kazan', Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2018. –85 p.

2 **Dorrer, M. G.** Modelirovanie neyronnyh setej v sisteme Matlab [Artificial neural networks and their applications Modeling Neural Networks in the Matlab System] [Text], Krasnoyarsk, 2021. -98 p.

3 **Serdyuk, A. A.** «Komp'yuternye sistemy iskusstvennogo intellekta» ["Computer Systems of Artificial Intelligence"] [Text], Kramatorsk, 2017. – 112 p.

4 **Nikolaeva, S. G.** Neyronnye seti. Realizaciya v MATLAB, [Neural Networks. Implementation in MATLAB] [Text], Kazan', 2015. -92 p.

5 **Vakulenko, S. A., ZHihareva, A. A.** Prakticheskij kurs po neyronnym setyam [Practical Course on Neural Networks] [Text] Sankt-Peterburg, 2018. - 71 p.

6 **Karter, Dzh.** Nejroseti [Neural Networks] [Text], Lit Ress, 2022. – 225 p.

7 **Lekun, Y. A.** Kak uchitsya mashina. Revolyuciya v oblasti neyronnyh setej i glubokogo obucheniya [How a Machine Learns. Revolution in neural networks and deep learning] [Text], Alpina Pro, 2022. – 423 p.

8 **Rashid, T.** Sozdaem neyronnuyu set' [Creating a neural network] [Text], Dialektika-Viliams, 2021.- 271 p.

9 **Nikolenko, S., Kadurin, A.,** Arhangel'skaya, E. Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir neyronnyh setej [Deep learning. Immersion in the world of neural networks] [Text], Piter, 2018. – 481 p.

10 **YAh"yaeva, G.** Nechetkie mnozhestva i neyronnye seti [Fuzzy sets and neural networks] [Text], Binom, 2008.- 320 p.

11 **Kallan, R.** Osnovnye koncepcii neyronnyh setej [Basic concepts of neural networks] [Text], Piter, 2013. - 293 p.

12 **Guido, J.** Deboeck. Visual Explorations in Finance: With Self-Organizing Maps (Springer Finance) [Text]. 2021.- 385 p.

*Карымсакова И. Б.¹, Бекенова Б. Д.², *Оспанов Е. А.³,
Кожжахметова Д. О.⁴, Туменов А. С.⁵*

^{1,3,4}Shakarim University, Республика Казахстан, Семей

²Turan-Astana University, Республика Казахстан, Астана

⁵ТОО «Аurum Bytes», Республика Казахстан, Алматы

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПО АНАЛИЗУ И ДАЧИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЛЕЧЕНИЮ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

На сегодняшний день одной из актуальных проблем в Семипалатинском регионе являются последствия ядерных испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне. Одним из последствий является высокий процент заболеваемости онкологическими заболеваниями в регионе. Заболеванию подвержены различные возрастные категории населения. В связи с этим одной из важнейших задач является раннее выявление онкологических заболеваний и их профилактика.

Основная идея данной статьи заключается в создании модуля интеллектуальной системы на основе искусственной нейронной сети для анализа и дачи рекомендаций по лечению онкологических заболеваний в Семипалатинском регионе. Особенностью является разработка модуля системы искусственного интеллекта на базе построения нейронной сети методом Хопфилда для самообучения, анализирования и дачи рекомендаций по лечению онкологических заболеваний в Семипалатинском регионе.

Проблема, на которую нацелено данное исследование, это построение модуля интеллектуальной системы, позволяющей ускорить и повысить точность процесса анализа и дачи рекомендаций по лечению онкологических заболеваний в Семипалатинском регионе. На вход нейросети подаются данные с ответами на вопросы по протоколу лечения онкологических заболеваний. В процессе построения модуля было обнаружено, что построенная сеть работает стабильно. С помощью такой сети

Хопфилда можно вводить ответы системы в виде векторов и получать результаты для дальнейших исследований.

Ключевые слова: информационные системы, искусственный интеллект, нейронная сеть, математический модуль, анализ, интеллектуальные системы, базы данных.

*Karymsakova I.¹, Bekenova D², *Ospanov Y,³, Kozhakhmetova D⁴, Tumenov A.⁵*

^{1,3,4} Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey

²Turan-Astana University, Republic of Kazakhstan, Astana

⁵Aurum Bytes LLP, Republic of Kazakhstan, Almaty

FEATURES OF BUILDING A NEURAL NETWORK FOR ANALYSIS AND RECOMMENDATIONS IN THE TREATMENT OF ONCOLOGICAL DISEASES

Today, one of the urgent problems in the Semipalatinsk region is the consequences of nuclear tests at the Semipalatinsk nuclear test site. One of the consequences is the high incidence of cancer in the region. Various age categories of the population are susceptible to the disease. In this regard, one of the most important tasks is the early detection of oncological diseases and their prevention.

The main idea of this article is to create an intelligent system module based on an artificial neural network for analyzing and making recommendations on the treatment of oncological diseases in the Semipalatinsk region. A special feature is the development of an artificial intelligence system module based on the construction of a neural network using the Hopfield method for self-study, analysis and giving recommendations on the treatment of oncological diseases in the Semipalatinsk region.

The problem that this study is aimed at is the construction of an intelligent system module that allows speeding up and improving the accuracy of the analysis process and making recommendations for the treatment of oncological diseases in the Semipalatinsk region. Data with

answers to questions on the protocol of treatment of oncological diseases is submitted to the input of the neural network. In the process of building the module, it was found that the built network works stably. With the help of such a Hopfield network, it is possible to enter the system's responses in the form of vectors and obtain results for further research.

Keywords: information systems, artificial intelligence, neural network, mathematical module, analysis, intelligent systems, databases.

МРНТИ 44.01.94

**Л. Н. Кириченко^{1*}, У. К. Жалмагамбетова²,
М. С. Крыкбаева³, Е. В. Командиров⁴, А. А. Шимпф⁵**

¹ТОО «Astana IT University», Республика Казахстан, г. Астана

²Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

³Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

⁴ТОО «Проманалит», Республика Казахстан, г. Павлодар

⁵Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

² <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

³ <https://orcid.org/0009-0001-7808-8650>

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>

⁵ <https://orcid.org/0000-0003-4203-9117>

*e-mail: lalita17021996@gmail.com

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМИССИЙ ОТ ОСНОВНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В статье представлены наиболее применяемые в рамках экологического мониторинга методы определения эмиссий от основных стационарных источников загрязнения. В исследовании приводится подробный анализ инфракрасной, ультрафиолетовой спектроскопии, а также электрохимического метода. Оценивается эффективность представленных методов при измерении концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, а также преимущества и недостатки при практическом применении в реальных условиях. Исследование подчеркивает важность учета внешних факторов, таких как влажность и фоновые сигналы, которые могут существенно влиять на точность и надежность измерений, важность точной калибровки оборудования, обеспечивающей надежность и воспроизводимость результатов. Кроме того, в статье рассматриваются проблемы, которые связаны с потерей и отражением света на границах оптических

элементов, что может снизить чувствительность измерений. Эти технические проблемы особенно актуальны в контексте ультрафиолетовой спектроскопии, где потеря света может привести к снижению интенсивности сигнала и ухудшению точности измерений. В рамках электрохимического метода приведены данные о перекрестном влиянии газов, что в свою очередь, может привести к искажению результатов мониторинга, ложным тревогам или недооценке опасности.

Ключевые слова: эмиссии, экологический мониторинг, ультрафиолетовая спектроскопия, инфракрасная спектроскопия, стационарные источники загрязнений.

Введение

В настоящее время проблема загрязнения атмосферного воздуха является одной из наиболее актуальных экологических угроз современности. Стационарные источники загрязнений производят значительное количество эмиссий вредных веществ, которые оказывают негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду [1]. Загрязняющие вещества, такие как диоксид серы, оксиды азота и взвешенные частицы, могут вызывать заболевания дыхательной системы, сердечно-сосудистые заболевания и другие серьезные проблемы со здоровьем [2; 3]. А также способствуют изменению климата и деградации экосистем [4; 5]. Все это повышает необходимость в разработке более надежных методов измерения эмиссий для получения достоверных данных, необходимых для анализа и принятия управленческих решений. Также важно понимать, что в рамках эффективного экологического мониторинга необходимо учитывать различные факторы [6; 7], такие как тип источника, метеорологические условия и химические реакции в среде измерения.

В данной статье рассматриваются актуальные подходы к определению эмиссий от основных стационарных источников, акцентируется внимание на технических и методологических аспектах, связанных с применением спектроскопических методов. Демонстрируются основные проблемы, такие как потеря чувствительности измерений, влияние внешних факторов, а также предлагаются пути их решения для повышения точности

экологического мониторинга. Эффективное управление выбросами и их контроль являются важными шагами на пути к устойчивому развитию и улучшению качества жизни населения.

Материалы и методы

В автоматизированных системах мониторинга окружающей среды применяются различные методы измерения загрязняющих веществ, которые обеспечивают точность и надежность данных.

В рамках инфракрасного метода в простом анализаторе инфракрасный свет излучается от такого источника излучения, как «Globar» (карбид кремния, нагреваемый до 1000 °С), других типов инфракрасных тепловых излучателей, инфракрасных светодиодов или инфракрасных лазеров [8]. Инфракрасный свет передается через две газовых ячейки: эталонная и анализируемая.

Эталонная ячейка содержит газ, например азот или аргон, который не поглощает свет на длине волны, используемой в приборе. Когда излучаемый луч проходит через образец, молекулы загрязняющих веществ поглощают часть инфракрасного света. В результате, когда свет появляется с конца ячейки образца, он будет иметь меньше энергии чем, когда он был введен. Он также будет иметь меньше энергии, чем свет, выходящий из опорной ячейки.

Отношение сигналов детектора от двух ячеек дает коэффициент пропускания света $Tr = I/I_0$, который может быть связан с газом-загрязнителем:

$$\begin{cases} I_{sample} = I_0 e^{-\alpha(\lambda)cl}; \\ I_{reference} = I_0 e^{-\alpha(\lambda)cl} = I_0 e^0 = I_0 \end{cases} \quad (1)$$

Значение I_0 остается неизменным, поэтому образец может быть связан с ним для получения коэффициента пропускания ($Tr = I/I_0$) и измерения концентрации. Принцип измерения газоанализатора использующий инфракрасный метод представлен на рисунке 1.

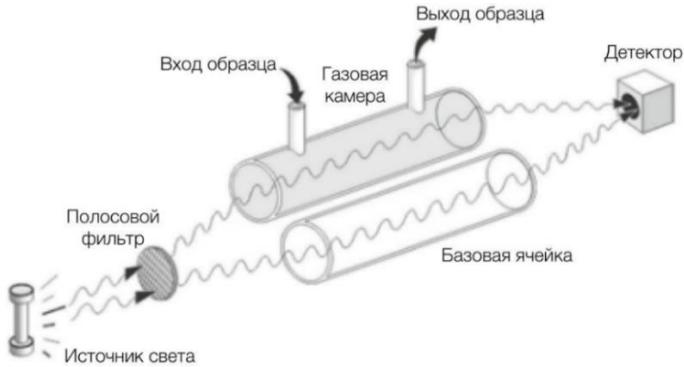


Рисунок 1 – Инфракрасный метод измерения

Анализаторы, работающие в области ультрафиолетового (УФ) спектра, используются для мониторинга загрязняющих веществ и технологического газа в течение многих лет [9]. Характеристики света в ультрафиолетовой области спектра (более короткая длина волны, более высокая энергия) приводят к молекулярным электронным переходам при поглощении света. Поскольку энергия, связанная с процессами поглощения, больше, чем в инфракрасном диапазоне, легче обнаружить изменения в поглощении. Для этой цели традиционно используются фотомножительные трубки; однако в настоящее время линейные фотодиодные приемные устройства на основе кремния применяются также в приборах для мониторинга источников. Принцип измерения газоанализатора использующий УФ-метод представлен на рисунке 2.

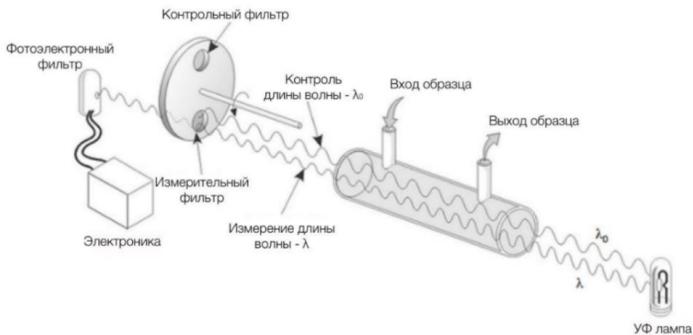


Рисунок 2 – Ультрафиолетовый метод измерения.

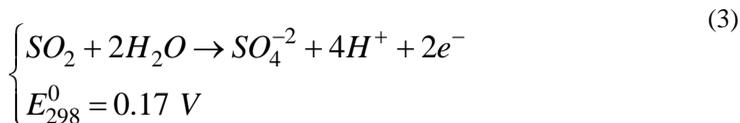
Электро-аналитические методы, используемые в мониторинге источников, включают методы полярографии, потенциометрии и электрокатализа [10].

Полярографические анализаторы относительно недороги и являются портативными и идеально подходят для инспекционных целей. Электрокаталитический используется только для мониторинга кислорода. С помощью этого метода можно использовать как экстрактивные, так и стационарные мониторы.

$$I(t) = I_0 e^{-(t/\tau)}, \quad (2)$$

где I - интенсивность света в момент времени t , воспринимается детектором; I_0 - начальная интенсивность света; t - время, прошедшее после включения лазера; τ - время кольцевого отключения, постоянная распада, равная времени, затраченному на падение интенсивности света до $1/e$ начальной интенсивности.

Преобразователь в этих приборах обычно представляет собой автономный электрохимический элемент, в котором происходит химическая реакция с молекулами загрязняющих веществ [11]. В преобразователе используются два основных метода: диффузионный барьер (обычно отверстие, капилляр или полупроницаемая мембрана) позволяет молекуле загрязнителя диффундироваться в электролитический раствор и измеряется изменение тока, возникающее на электроде в результате окисления или восстановления газа на электроде. Например, в системе, предназначенной для измерения SO_2 , происходит реакция окисления, которая происходит в



где E_{298}^0 потенциал напряжения полуэлемента.

В точечной системе измерения [12] производятся в точке или на траектории, короткой по отношению к диаметру дымовой трубы или канала, поэтому необходимо учитывать длину и расположение пробоотборника, особенно если концентрации газа стратифицированы в дымовой трубе. "Точка" может простираться более чем на несколько сантиметров до 1 метра или даже длиннее при измерении низких концентраций газа.

В свою очередь, трассовые системы на месте измеряют расстояние в газоходе, которое обычно эквивалентно внутреннему диаметру газохода. Мониторы с интегрированной траекторией используют электрооптические методы, при которых свет передается через газоход на детектор. Световая энергия поглощается целевыми молекулами на их сигнатурных длинах волн, когда свет проходит через дымовой газ в процессе его перехода к детектору.

Путем измерения по траектории получается концентрация, интегрированная по траектории. В подобных измерениях используется термин «оптическая глубина», которая является продуктом концентрации газа и длины канала измерения

$$\text{Оптическая глубина} = c_s d_m,$$

где c_s - концентрация газа; d_m - расстояние, которое луч света проходит через дымовой газ.

Оптическая глубина, выраженная в ppm-метрах, полезна при обсуждении возможностей измерения систем газомониторинга траектории. Например, если двойной проход прибора имеет диапазон 5000 ppm-м, его полномасштабное чтение (пролет) на дымовой трубе (газохода) диаметром 5 метров будет $5000/(2 \times 5) = 500$ ppm. Поскольку оптическая глубина является продуктом концентрации и длины пути, можно получить эквивалентную оптическую глубину путём уменьшения длины пути и увеличения концентрации или наоборот.

Основные методы измерения эмиссий от стационарных источников загрязнений, которые подлежат непрерывному мониторингу, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы измерения загрязняющих веществ

Параметр	Наименование метода				
	Экстрактивные системы			Системы In-situ	
	Инфракрасный метод	Ультрафиолетовый метод	Электронно-аналитический метод	Точечный	Трассовый
1	2	3	4	5	6
Оксид азота NO	Применяются корреляционный газовый фильтр	УФ-лампы, испускающие 284 и 309 нм при Hot-wet	+	Дифференциальное поглощение /Применяются корреляционный газовый фильтр	Регулируемые лазерные системы
Диоксид азота NO ₂	-	УФ-лампы, испускающие 214нм при Hot-wet	+	Дифференциальное поглощение	Дифференциальное поглощение
Оксид	+	-	+	Применяются	Дифференциаль

углерод а CO				кореляцио нный газовый фильтр	ное поглощени е /Регулируе мые лазерные системы
Сер ы диоксид а SO 2	+	УФ- лампы, испускаю щие 285, 309 и 383нм при Hot-wet	+	Приме няются кореляцио нный газовый фильтр	Дифф еренциаль ное поглощени е
Сер оводоро да H ₂ S	-	УФ- лампы, испускаю щие 214нм	+	Дифф еренциаль ное поглощени е	Регул ируемые лазерные системы
Угл ерода оксид- сульфид CO S	-	УФ- лампы, испускаю щие 205нм при Hot-wet	-	-	-
Угл ерода сульфид CS ₂		УФ- лампы, испускаю щие 206 и 215нм при Hot-wet			
Ме ркаптан ы		Приме няется Жидкая		Дифф еренциаль ное	

		хроматография		поглощение	
--	--	---------------	--	------------	--

Результаты и обсуждение

При применении ультрафиолетового метода измерения эмиссий наблюдается две возможные проблемы: потерями и отражение света между оптическими элементами газоанализатора и окружающей средой. При отражении света на границах раздела между оптическими элементами и средой могут возникать фоновые шумы и сигналы, которые возникают при отражении света, что снижает точность полученных результатов.

Важно отметить, что потери света при осуществлении экологического мониторинга приводят к снижению интенсивности сигнала, который регистрирует детектор газоанализатора и уменьшению чувствительности, что в свою очередь, также влияет на точность результатов измерения.

Потери света также существенно влияют на точность измерения, накладывая лимит на разницу между минимальной и максимальной концентрацией газа. Это ограничение особенно влияет на исследование газовых смесей, для которых, важно корректное измерение низких и высоких концентраций.

Инфракрасная и ультрафиолетовая спектроскопии представляют собой мощные инструменты анализа молекулярной структуры и состава вещества. Однако, при их применении возникают ряд технических и методологических аспектов, которые могут оказать влияние на достоверность и интерпретацию получаемых результатов. При применении метода инфракрасной спектроскопии влажность окружающей среды представляет собой существенный фактор, способный исказить получаемые данные. Вода обладает интенсивными инфракрасными полосами поглощения, что может привести к фоновым сигналам и маскировке интересующих характеристик образца. Поэтому возникает необходимость использования дополнительных методов дегазации или сушки образцов. Ввиду наличия множества полос поглощения, особенно для сложных смесей или неоднородных образцов, требуется глубокое знание молекулярных структур и взаимодействий для корректного анализа спектральных данных, поэтому возникает сложность интерпретации.

Также важно соблюдать чистоту измеряемого образца, так как даже небольшие примеси могут повлиять на результаты.

Чувствительность ультрафиолетовой спектроскопии к фоновым воздействиям, таким как воздействие света и окружающей среды, является еще одним аспектом, который необходимо учитывать при анализе образцов, что означает необходимость специальных условий проведения экспериментов. Также следует отметить, что некоторые материалы не обладают достаточной прозрачностью для ультрафиолетового излучения, что ограничивает область применения в рамках данного метода анализа. Это ограничение необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов.

В рамках применения электрохимического метода большим недостатком является перекрестное влияние, что означает что он чувствителен не только к целевому газу, но и к другим газам входящих в состав анализируемой газа. Электрохимические ячейки окиси углерода (CO) могут быть чувствительны к водороду (H₂), особенно в высоких концентрациях, диоксида азота (NO₂) могут демонстрировать перекрестную чувствительность к озону (O₃) и оксидам азота (NO_x), кислорода (O₂) могут быть чувствительны к некоторым летучим органическим соединениям (ЛОС) и другим газам.

Таблица 2 – Перекрестное влияние при измерение электрохимическим методом

Sensor	C	H	S	N	Cl ₂	Cl	H	N	PH	N	H ₂	N
	C	H ₂	S	NO ₂		CO	CO ₂	NO	NO ₂	O ₃	O ₂	NO ₂
Carbon Monoxide (CO)	100%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%
Hydrogen	%	100%	%	40%	3%	25%	0%	100%	5%	0%	0%	5%

Sulfide (H ₂ S)												
Sulfur Dioxide (SO ₂)	%	%	00%	%	%	%		0%	1%	%	%	40%
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	5%	24%	165%	00%	5%		70%		11%	0%	%	10%
Chlorine (Cl ₂)	10%	17%	25%	0%	00%	0%	20%	%	20%	%	%	50%
Chlorine Dioxide (ClO ₂)					0%	00%						
Hydrogen Cyanide (HCN)	5%	0%	0%	%	%	%	00%	5%	%	%	0%	%
Hydrogen Chloride (HCl)		%		%		%	00%	%	5%	%	%	
Phosphine (PH ₃)						10%	25%	00%	00%			

Ni tric Oxide (NO)	5 %	0. 2 %	%	%			5%			00 %	0%	%
H ydroge n (H ₂)	2 %	.1 %	. 5 %	%	%	%	%	%	%	%	00 %	%
A mmoni a (NH ₃)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	00 %
A cetylen e	02 %	%	3 8 %	%						%		

При присутствии определённой концентрация CO, датчик H₂S покажет дополнительный сигнал, эквивалентный 1% этой концентрации CO, как если бы это был H₂S. Если концентрация CO составляет 100 ppm, то датчик H₂S ошибочно добавит к своему показанию 1% от этой концентрации, то есть 1 ppm, как будто бы это был H₂S.

Присутствие перекрёстного влияния делает этот метод не всегда надёжным выбором. Датчики реагируют не только на целевой газ, но и на присутствие других газов в смеси, приводя к искажённым показаниям. В другом случае, когда датчик хлороводорода (HCl) чувствителен к сероводороду (H₂S) с перекрёстной чувствительностью в 300%, то присутствие 100 ppm H₂S может добавить 300 ppm к показанию HCl, что значительно исказит результат. Это может привести к ложным тревогам или недооценке опасности, требуя дополнительных калибровок и коррекций для повышения точности измерений.

Информация о финансировании (при наличии)

Исследования выполнены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы ИРН BR21882258 «Разработка комплекса интеллектуальных информационно-

коммуникационных систем для экологического мониторинга эмиссий в окружающую среду для принятия решения в концепте углеродной нейтральности».

Выводы

В рамках исследования были рассмотрены различные методы измерения эмиссий от стационарных источников загрязнений, которые используются в системах экологического мониторинга. Однако, рассмотренные методы имеют свои недостатки, которые ограничивают их эффективность.

Метод ультрафиолетовой спектроскопии показывает довольно точные результаты, но на данные влияют потери света и отражения, что снижает чувствительность и точность измерений. Эти проблемы требуют регулярной калибровки и корректировки оборудования. Инфракрасная спектроскопия подвержена влиянию влажности, что может исказить результаты и усложнить их интерпретацию, особенно в сложных смесях. Электрохимические методы, хотя и эффективны для определения концентраций газов, подвержены перекрестным влияниям, что может привести к ложным показаниям и требует дополнительных коррекций. Недостаточная селективность и чувствительность к другим веществам делают эти методы менее надежными в многокомпонентных средах.

Недисперсионные методы, хотя и обеспечивают неплохую точность, ограничены в диапазоне измеряемых концентраций и требуют тщательной настройки для минимизации влияния внешних факторов. Оптимальным методом может стать усовершенствованный на базе существующих методов экологического мониторинга, но учитывающий факторы, которые вносят искажения в показания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Biloshchytskyi, A., Kuchanskyi, O., Andrashko, Y., Yedilkhan, D., Neftissov, A., Biloshchytska, S., Amirgaliyev, B., Vatskel, V. Reducing Outdoor Air Pollutants through a Moss-Based Biotechnological Purification

Filter in Kazakhstan [Текст] // Urban Science. – 2023. – v. 7, №4. – P. 104. doi:

<https://doi.org/10.3390/urbansci7040104>

2 **Li, J., Deng, Z., Soerensen, S.J.C., Kachuri, L., Cardenas, A., Graff, R.E., Leppert, J.T., Langston, M.E., Chung, B.I.** Ambient air pollution and urological cancer risk: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence [Текст] // Nat Commun. – 2024. – v. 15, №1. – P. 5116. doi: 10.1038/s41467-024-48857-2

3 **Brauer, M., Brook, J.R., Christidis, T., Chu, Y., Crouse, D.L., Erickson, A., Hystad, P., Li, C., Martin, R.V., Meng, J., Pappin, A.J., Pinault, L.L., Tjepkema, M., van Donkelaar, A., Weagle, C., Weichenthal, S., Burnett, R.T.** Mortality-Air Pollution Associations in Low Exposure Environments (MAPLE): Phase 2 [Текст] // Res Rep Health Eff Inst. – 2022. – №212. – P. 1-91. PMID: 36224709

4 **Downey, N., Emery, C., Jung, J., Sakulyanontvittaya, T., Hebert, L., Blewitt, D., Yarwood, G.** Emission reductions and urban ozone responses under more stringent US standards [Текст] // Atmospheric Environment. – 2014. – v. 101. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.11.018

5 **Cakaj, A., Qorri, E., Coulibaly, F., Agathokleous, E., Leca, S., Sicard, P.** Assessing surface ozone risk to human health and forests over time in Poland [Текст] // Atmospheric Environment. – 2023. – v. 309. doi: 10.1016/j.atmosenv.2023.119926

6 **Jiménez Navarro, M., Martínez Ballesteros, M., Martínez-Álvarez, F., Cortés, G.** Explaining deep learning models for ozone pollution prediction via embedded feature selection [Текст] // Applied Soft Computing. – 2024. – v. 157. doi: 10.1016/j.asoc.2024.111504

7 **Liu, G., Wang, Y.** Vertical distribution characteristics and potential sources of atmospheric pollutants in the North China Plain basing on the MAX-DOAS measurement [Текст] // Environmental Sciences Europe. – 2024. – v. 36. doi: 10.1186/s12302-024-00902-z

8 **Wastine, B., Hummelgård, C., Bryzgalov, M., Rödjegård, H., Martin, H., Schröder, S.** Compact Non-Dispersive Infrared Multi-Gas Sensing Platform for Large Scale Deployment with Sub-ppm Resolution [Текст] // Atmosphere. – 2022. – v. 13, №1789. doi: 10.3390/atmos13111789

9 **Lambey, V., Prasad, A.D.** Measurement of PM10, PM2.5, NO2, and SO2 Using Sensors [Текст] // В: Advanced Methods for Decision-Making in Healthcare, eds. Springer, Cham, 2022. doi: 10.1007/978-3-031-16217-6_6

10 **Xiong, Y., Wang, Z., Tang, L., Chen, Q., Feng, Y., Xie, Z., Fu, D.** Ozone-3, 6-dihydroxynaphtha-2, 7-disulphonate chemiluminescence system is used for online ozone detection [Текст] // Luminescence. – 2024. – v. 38. doi: 10.1002/bio.4393

11 **Brum, M., Sobrinho, D., Fagundes, F., Oudwater, R., Augusto, C.** Development of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes certified gaseous reference materials [Текст] // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – v. 733. – P. 012035. doi: 10.1088/1742-6596/733/1/012035.

12 **Dugheri, S., Mucci, N., Bonari, A., Marrubini, G., Cappelli, G., Ubiali, D., Campagna, M., Montalti, M., Arcangeli, G.** Solid phase microextraction techniques used for gas chromatography: A review [Текст] // Acta Chromatographica. – 2019. – P. 1-9. doi: 10.1556/1326.2018.00579.

Л. Н. Кириченко^{1*}, *Ұ. Қ. Жалмағамбетова*², *М.С. Крыкбаева*³, *Е. В. Командиров*⁴, *А. А. Шимпф*⁵

¹Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁴Проманалит ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁵Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

НЕГІЗГІ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЛАСТАНУ КӨЗДЕРІНЕН ШЫҒАРЫНДЫЛАРДЫ АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІ

Мақалада экологиялық мониторинг аясында ластанудың негізгі стационарлық көздерінен эмиссияларды анықтаудың ең көп қолданылатын әдістері келтірілген. Зерттеу инфрақызыл, ультракүлгін спектроскопияның, сондай-ақ электрохимиялық әдістің егжей-тегжейлі талдауын береді. Атмосферадағы ластаушы заттардың концентрациясын өлшеу кезінде ұсынылған әдістердің тиімділігі, сондай-ақ нақты жағдайларда практикалық

қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктері бағаланады. Зерттеу өлшеу дәлдігі мен сенімділігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін ылғалдылық пен фондық сигналдар сияқты сыртқы факторларды есепке алудың маңыздылығын, нәтижелердің сенімділігі мен қайталануын қамтамасыз ететін жабдықты дәл калибрлеудің маңыздылығын көрсетеді. Сонымен қатар, мақалада оптикалық элементтердің шекараларында жарықтың жоғалуы мен шағылысуымен байланысты мәселелер қарастырылады, бұл өлшеу сезімталдығын төмендетуі мүмкін. Бұл техникалық мәселелер әсіресе ультракүлгін спектроскопия контекстінде өзекті болып табылады, мұнда жарықтың жоғалуы сигнал қарқындылығының төмендеуіне және өлшеу дәлдігінің нашарлауына әкелуі мүмкін. Электрохимиялық әдіс бойынша газдардың өзара әсері туралы мәліметтер келтірілген, бұл өз кезегінде мониторинг нәтижелерінің бұрмалануына, жалған дабылдарға немесе қауіпті бағаламауға әкелуі мүмкін.

Кілтті сөздер: эмиссиялар, экологиялық мониторинг, ультракүлгін спектроскопия, инфрақызыл спектроскопия, стационарлық ластану көздері.

L. N. Kirichenko^{1*}, U. K. Zhalmagambetova², M. S. Krykbayeva³,
E. V. Komandirov⁴, A. A. Shimpf⁵

¹Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana c.

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar c.

³Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar c.

⁴Promanalit LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

⁵Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar c.

METHODS FOR DETERMINING EMISSIONS FROM MAJOR STATIONARY SOURCES OF POLLUTION

The article presents the most used methods for the determination of emissions from the main stationary pollution sources in environmental monitoring. The study provides a detailed analysis of infrared, ultraviolet

spectroscopy and electrochemical methods. The effectiveness of the presented methods in measuring the concentration of pollutants in the atmosphere is assessed, as well as the advantages and disadvantages in practical application under real-life conditions. The study emphasizes the importance of taking into account external factors such as humidity and background signals, which can significantly affect the accuracy and reliability of measurements, and the importance of accurate calibration of equipment to ensure the reliability and reproducibility of results. The paper also discusses the problems associated with light loss and reflection at the boundaries of optical elements, which can reduce the sensitivity of measurements. These technical problems are particularly relevant in the context of ultraviolet spectroscopy, where light loss can lead to a decrease in signal intensity and degradation of measurement accuracy. In the electrochemical method, cross-influences of gases are demonstrated, which in turn can lead to biased monitoring results, false alarms or underestimation of the threat.

Keywords: emissions, environmental monitoring, ultraviolet spectroscopy, infrared spectroscopy, stationary sources of pollution.

***Р. Б. Косымбаев¹, Ю. Ф. Булатбаева², Ф.Н. Булатбаев³**

*^{1,2,3}Қарағандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова,
Республика Казахстан, г. Караганда*

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5439-7267>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3574-1189>

*email: kosymbaev.r@gmail.com

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНЫМ И ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОДАЧИ НА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА

Статья посвящена результатам исследования методов регулирования насосных станций первого подъема. Эти насосные станции чаще всего подают воду в аккумулирующие емкости, что отличает их от насосных станций следующих подъемов.

По причине отсутствия видимой необходимости в регулировании подачи на таких станциях обычно применяется дискретный метод регулирования, который заключается в запуске насосов при достижении минимального уровня воды в аккумулирующей емкости и последующем отключении при достижении верхнего уровня, тем самым поддерживая уровень в резервуаре. При наполнении резервуара уровень в резервуаре суммируется с статическим напором, который зависит от геодезической высоты между уровнем водоема, который также склонен к изменениям и дном емкости. Эти колебания статического напора приводят к лишнему расходу электроэнергии. В целях сокращения расхода электроэнергии необходимо обеспечить равенство между подачей и водопотреблением, что возможно при применении метода непрерывного регулирования.

В процессе исследования сделан вывод о том, что при непрерывном методе регулирования подача насоса стремится к равенству с водопотреблением. В результате этого потребляемая мощность равняется необходимой на данный момент мощности, что приводит к

стабилизации статического напора и соответственно уровня воды в емкости. Данная стабилизация приводит к значительному снижению энергозатрат.

Ключевые слова: преобразователь частоты, насосная станция, энергоэффективность, электродвигатель, Simulink.

Введение

Для проведения исследования была выбрана БНС ОФ Нурказган. Эта станция перекачивает воду из Самаркандского водохранилища в резервуар, расположенный возле фабрики. На станции установлены два центробежных насоса модели Д630-90 (один основной, один резервный) с асинхронными электродвигателями мощностью 250 кВт.

Насосные станции первого подъема, как правило, обеспечивают подачу воды в емкости, где работают в зависимости от уровня в емкости, запускаясь при достижении верхнего уровня и останавливаясь при достижении нижнего уровня [1]. Это приводит к периодическим изменениям статического напора, который зависит от геодезической высоты между уровнем водоема и дном емкости. При этом происходят изменения статического напора, а не динамического. Эти колебания статического напора увеличивают расход электроэнергии и могут привести к износу оборудования.

На рисунке 1 показана структура данной установки. Насос (1) перекачивает жидкость из источника (3) в приёмную ёмкость (2). Когда уровень жидкости в ёмкости (2) достигает значения УВ, насос (1) включается и начинает работать. Когда уровень жидкости достигает значения УО, насос (1) отключается. Таким образом, поддерживается необходимый диапазон уровня жидкости в приёмной ёмкости (2) [2].

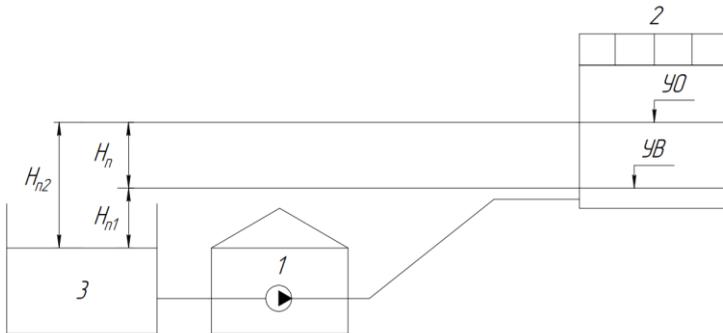


Рисунок 1 – Схема работы насоса с переменным статическим напором

При такой работе насоса статический напор колеблется между уровнями включения $H_{п1}$, в нашем случае равным 32 м (уровень водоема) и отключения $H_{п2}$ равным 39 м. Разница между двумя уровнями указывает на изменение статического напора в 7 м.

Избыточный напор в насосной установке может быть вызван различными факторами. Одной из основных причин является слишком высокое расположение датчика верхнего уровня в резервуаре. Это приводит к тому, что насос продолжает работать, когда уже необходимо отключиться. Также изменение уровня воды в источнике или неисправность датчика могут стать причиной избыточного давления [3].

Для сокращения энергетических потерь, возникающих при появлении избыточного напора, необходимо настроить режим работы таким образом, чтобы уровень в приемном резервуаре стабилизировался на минимально допустимом уровне. Этот уровень должен обеспечить резерв воды для аварийных ситуаций на насосной станции и поддерживать необходимый напор для подачи воды на фабрику. Достичь этого можно путем непрерывного регулирования подачи насосного агрегата [4].

Возникла необходимость сравнения двух методов регулирования, так как при применении дискретного метода регулирования насосный агрегат работает с перерывами, но всегда на номинальной мощности, в отличие от непрерывного метода регулирования, где насосный агрегат работает непрерывно, но с различными значениями потребляемой мощности.

Необходимо провести сравнительный анализ энергопотребления при использовании двух методов с учетом всех технических особенностей работы насосной станции первого подъема.

Материалы и методы

Для оценки потребления воды из резервуара необходимо проанализировать суточный график водопотребления. Водопотребление на обогатительной фабрике зависит от технологического процесса и является неравномерным. Это требует особого подхода к управлению насосами, чтобы избежать перегрузок и оптимизировать энергозатраты. На рисунке 2 представлен суточный график водопотребления, который показывает пики и спады в зависимости от производственных нужд. Объем приемного резервуара составляет 700 м^3 , а допустимая высота его наполнения — 9 м. Насосы запускаются, когда уровень воды в резервуаре достигает нижней отметки в 2 метра и останавливаются при достижении верхней отметки в 9 метров.

По данным предприятия, при дискретном методе регулирования подачи насос в среднем работает 15 часов в сутки и запускается 6-7 раз, что может привести к излишнему износу оборудования.

Потребляемая насосом мощность составляет:

$$P_1 = \frac{\rho \times Q_{\text{ном}} \times H_{\text{ном}}}{102 \times \eta_{\text{н.ном}} \times \eta_{\text{дв.ном}}} = \frac{1000 \times 0,175 \times 90}{102 \times 0,82 \times 0,943} = 199,68 \text{ кВт.}$$

Это значение мощности рассчитано на основе номинальных характеристик насоса и электродвигателя, учитывая их коэффициенты полезного действия. Среднее потребление электроэнергии в сутки при этом составит:

$$W_1 = P_1 \times T_p = 199,68 \times 15 = 2995,2 \text{ кВт} \cdot \text{час/сутки.}$$

Этот показатель позволяет оценить эффективность работы насосной системы. Использование непрерывного регулирования может снизить потребление электроэнергии, оптимизируя работу насоса в зависимости от текущих условий нагрузки.

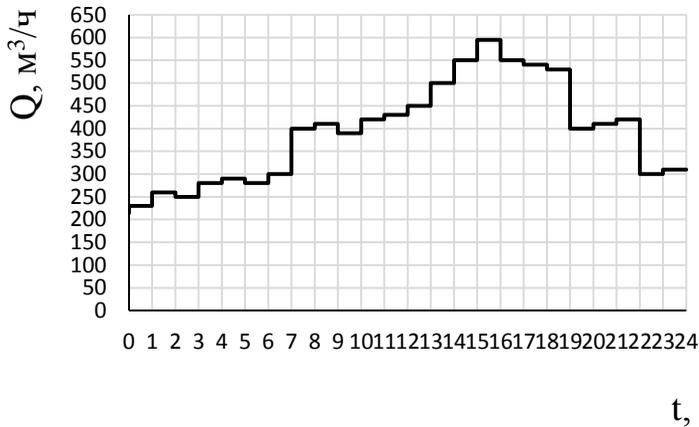


Рисунок 2 – Суточный график водопотребления

На рисунке 3 изображена имитационная модель насосного агрегата с автоматической стабилизацией уровня воды на отметке 5 метров, состоящего из центробежного насоса Д-630-90, асинхронного электродвигателя 5АН315В4 и преобразователя частоты, созданная для анализа эффективности системы непрерывного регулирования [5]. В каждой из подсистем реализованы зависимости подачи, напора, мощности от скорости вращения насосного агрегата, которые необходимы для создания модели и дальнейшего изучения.

Формула, используемая для расчета подачи в зависимости от угловой скорости насосного агрегата, имеет следующий вид:

$$Q = Q_{\text{ном}} \sqrt{\frac{H_{\Phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}\right)^2 - H_c}{H_{\Phi} - H_c}}.$$

Уравнение для расчета напора в зависимости от угловой скорости имеет вид:

$$H = H_c + (H_{\text{ном}} - H_c) \frac{H_{\Phi} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}\right)^2 - H_c}{H_{\Phi} - H_c}.$$

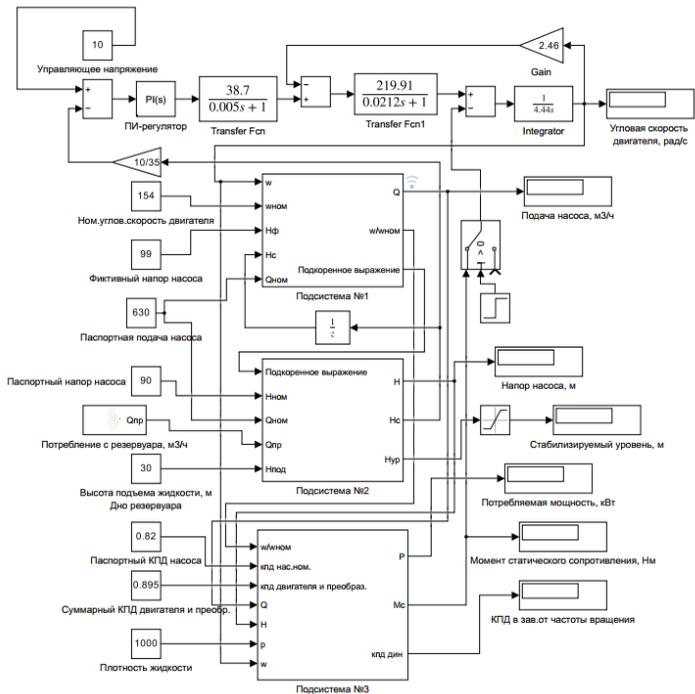


Рисунок 3 – Модель насосного агрегата со стабилизацией уровня воды в резервуаре

Уравнение для статического напора при заданном расходе:

$$H_c = \frac{H - H_{\text{НОМ}} \left(\frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{НОМ}}} \right)^2}{1 - \left(\frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{НОМ}}} \right)^2}.$$

Статический напор является стабилизируемым параметром системы. Для поддержания оптимальных условий эксплуатации насосного оборудования важно контролировать статический напор и поддерживать его в заданных пределах.

Уровень воды в резервуаре определяется следующим уравнением:

$$H_{\text{ур}} = H_c - H_{\text{под}}.$$

Далее представлены зависимости следующих параметров от угловой скорости насосного агрегата: КПД, активная мощность, потребляемая мощность и статический момент сопротивления. Эти параметры играют ключевую роль в определении эффективности работы насосной системы [6].

Ф о р м у л а д л я р а с ч е т а К П Д н а с о с а :

$$\eta_n = 1 - \frac{1 - \eta_{ном}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{ном}}\right)^{0,36}}$$

Эта формула показывает, как КПД изменяется с изменением угловой скорости, что помогает определить оптимальные режимы работы насоса.

Формула для активной мощности:

$$N = \frac{\rho Q H}{102 \eta_n}$$

Активная мощность насоса напрямую связана с его производительностью и КПД. Формула позволяет определить, сколько энергии требуется для поддержания заданного напора и расхода.

Формула для статического момента сопротивления:

$$M_{н.с} = \frac{\rho \times Q \times H \times 10^3}{\omega \times 102 \times \eta_n}$$

Статический момент сопротивления играет важную роль в оценке нагрузки на насосный агрегат и позволяет выявить области, требующие оптимизации для повышения эффективности.

Потребляемая мощность определяется как отношение активной мощности насоса к произведению КПД преобразователя и двигателя [7].

Результаты и обсуждение

При анализе после подачи на вход модели для задания водопотребления, основанного на суточном графике из резервуара, была установлена зависимость между скоростью вращения и объемом потребляемой воды, как показано на рисунке 4. График демонстрирует, что скорость вращения насоса возрастает с увеличением водопотребления и

уменьшается при его снижении, что соответствует изменениям, наблюдаемым в графике водопотребления из резервуара [8].

С помощью данной модели можно также определить зависимость потребляемой мощности от объема потребления из резервуара, что иллюстрируется на рисунке 5. График демонстрирует, что потребляемая мощность возрастает пропорционально объему потребления из резервуара [9].

При увеличении потребления воды из резервуара возрастает и скорость вращения насоса, а в следствии напор и потребляемая мощность. В этом случае подача насоса соответствует потреблению, поэтому необходимая мощность равняется потребляемой мощности. Это способствует эффективному энергосбережению, так как насос функционирует в режиме, наилучшим образом соответствующем текущему уровню потребления [10].

При использовании непрерывного регулирования, насосы могут работать на оптимальных оборотах, что позволяет снижать излишние потери энергии и поддерживать высокую эффективность работы системы в целом. Такой подход позволяет более эффективно регулировать подачу воды, обеспечивая необходимую скорость вращения насоса в соответствии с актуальными потребностями, что, в свою очередь, способствует снижению энергетических затрат и износа оборудования.

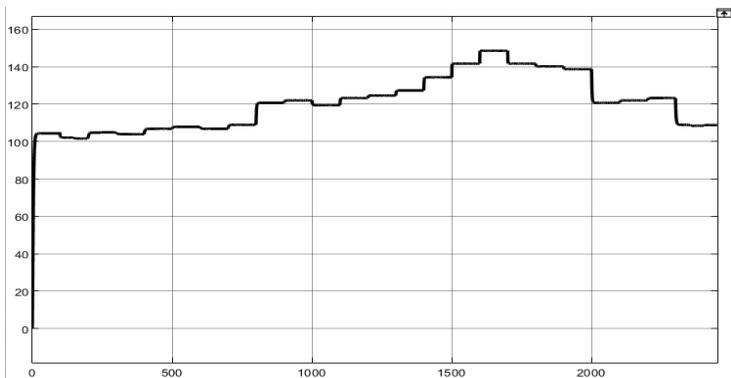


Рисунок 4 - График скорости вращения в зависимости от потребления в течение суток

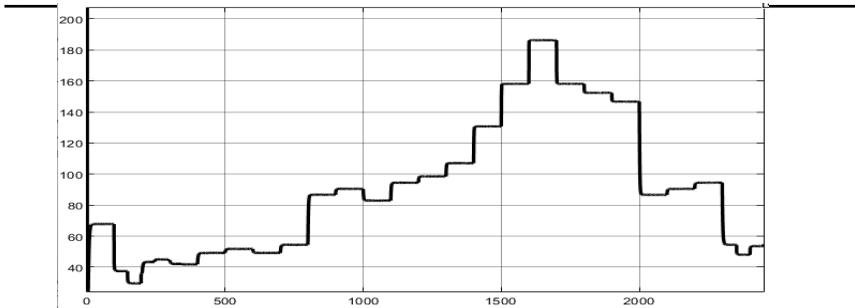


Рисунок 5 – График потребляемой мощности в течение суток

Чтобы вычислить суточное энергопотребление, нужно сложить значения потребляемой мощности, изменяя объем жидкости из резервуара в соответствии с суточным графиком водопотребления. Энергетические затраты в системе электропривода с частотным регулированием, обеспечивающей поддержание стабильного уровня жидкости в резервуаре:

$$W_2 = \sum_{P=P_1}^{P_{24}} P = 2180,57 \text{ кВтчас/сутки.}$$

Снижение потребления электроэнергии при применении частотно-регулируемого электропривода в системе стабилизации уровня жидкости в резервуаре:

$$\Delta W_{\text{эл}} = W_1 - W_2 = 2995,2 - 2180,57 = 814,63 \text{ кВтчас/сутки.}$$

Выводы

В статье проведено исследование энергоэффективности двух методов регулирования подачи на насосной станции первого подъема обогатительной фабрики Нурказган. Основное внимание было уделено сравнительному анализу непрерывного и дискретного регулирования подачи насосного агрегата. Для расчета использовался суточный график водопотребления из резервуара. Согласно данным с предприятия, при дискретном управлении насосный агрегат работает при номинальных значениях мощности в среднем 15 часов в сутки и потребляет 2995,2 кВтч/сутки. Это указывает на высокое энергопотребление при использовании дискретного регулирования.

Для проведения исследования была разработана модель, на вход которой был подан суточный график водопотребления из резервуара, что позволило получить необходимые зависимости. По результатам моделирования было установлено, что насосный агрегат с непрерывным регулированием потребляет 2180,57 кВтч/сутки, работая при этом круглосуточно. Такой режим позволяет более точно соответствовать изменяющимся требованиям к водоснабжению и обеспечивает оптимальное использование энергоресурсов.

При использовании непрерывного регулирования наблюдается изменение скорости насоса и всех зависимых параметров, но коэффициент полезного действия меняется незначительно в пределах от 0,79 до 0,82. Подача насоса и расход воды сбалансированы, что обеспечивает соответствие между необходимой и потребляемой мощностями. Этот баланс и является основой энергосбережения. Снижение потребляемой энергии при непрерывном регулировании способствует не только экономии ресурсов, но и снижению эксплуатационных затрат. Разница в энергопотреблении между непрерывным и дискретным регулированием составила 814,63 кВтч/сутки. Это свидетельствует о значительной энергоэффективности применения непрерывного регулирования на насосной станции первого подъема обогатительной фабрики Нурказган.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Моргунов К. П.** Насосы и насосные станции: учебное пособие для вузов [Текст]. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 308 с.
- 2 **Рульнов, А. А.** Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учебное пособие [Текст]. – Владимир: ИНФРА-М, 2023. – 192 с.
- 3 **Шарапов, В. М., Полищук, Е. С.** Датчики: Справочное пособие [Текст]. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.
- 4 **Лезнов, Б. С.** Частотно-регулируемый электропривод насосных установок [Текст]. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.
- 5 **Дьяконов, В. П.** MATLAB. Полный самоучитель [Текст]. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

6 **Фащиленко, В. Н.** Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: учебное пособие [Текст]. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 260 с.

7 **Кацман, М. М.** Электрические машины. – М.: Издательский центр «Академия», 2013 [Текст]. – 496 с.

8 **Абакумов, А. М.** Исследование системы стабилизации уровня жидкости в резервуарах [Текст] // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2021. – Т.29. - № 1. – С. 104-119.

9 **Стариков А.В., Кубарьков И.П., Тимаков А.Д.** Математическая модель системы управления насосной станцией [Текст] // Глобус: технические науки. – 2019. – № 4. – С. 30–36.

10 **Денисенко, В. П.** ПИД-регуляторы: вопросы реализации [Текст] // Современные технологии автоматизации. – 2017. – № 4. – С. 86–97.

REFERENCES

1 **Morgunov K. P.** Nasosy i nasosnye stancii: uchebnoe posobie [Pumps and pumping stations: a tutorial] [Text]. – Saint Petersburg: Lan', 2022. – 308 p.

2 **Rul'nov, A. A.** Avtomatizaciya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: uchebnoe posobie [Automation of water supply and sanitation systems: a tutorial] [Text]. – Vladimir: INFRA-M, 2023. – 192 p.

3 **Sharapov, V. M., Polishchuk, E. S.** Datchiki: Spravochnoe posobie [Sensors: Reference Guide] [Text]. – Moscow: Technosphere, 2012. – 624 p.

4 **Leznov, B. S.** Chastotno-reguliruemyy elektroprivod nasosnyh ustanovok [Frequency-controlled electric drive of pumping units] [Text]. – Moscow: Mechanical engineering, 2013. – 176 p.

5 **D'yakonov, V. P.** MATLAB. Polnyj samouchitel' [MATLAB. Complete tutorial] [Text]. – Moscow: DMK Press, 2012. – 768 p.

6 **Fashchilenko, V. N.** Reguliruemyy elektroprivod nasosnyh i ventilyatornyh ustanovok gornyh predpriyatij: uchebnoe posobie [Controlled electric drive of pumping and fan installations of mining enterprises: Tutorial] [Text]. – Moscow: Publishing house «Mining book», 2012. – 260 p.

7 **Касман, М. М.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] [Text]. – Moscow: Publishing center «Academy», 2013. – 496 p.

8 **Abakumov, A. M.** Issledovanie sistemy stabilizatsii urovnya zhidkosti v rezervuarah [Study of the liquid level stabilization system in tanks] [Text] // Bulletin of the Samara State Technical University. Series «Technical Sciences». – 2021. – V.29. - № 1. – P. 104-119.

9 **Starikov A.V., Kubarkov I.P., Timakov A.D.** Matematicheskaya model' sistemy upravleniya nasosnoy stantsiyey [Mathematical model of the pumping station control system] [Text] // Globus: Technical Sciences. – 2019. – № 4. – P. 30–36.

10 **Denisenko, V. P.** PID-regulatory: voprosy realizatsii [PID controllers: implementation issues] [Text] // Modern automation technologies. – 2017. – № 4. – P. 86–97.

**Р. Б. Косымбаев¹, Ю. Ф. Булатбаева², Ф. Н. Булатбаев³*

^{1,2,3}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

БІРІНШІ КӨТЕРУ СОРҒЫ СТАНЦИЯСЫНДА БЕРУДІ ҮЗДІКСІЗ ЖӘНЕ ДИСКРЕТТІ РЕТТЕУ КЕЗІНДЕ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУДЫ ТАЛДАУ

Мақала бірінші көтеру сорғы станцияларын реттеу әдістерін зерттеу нәтижелеріне арналған. Бұл сорғы станциялары көбінесе суды сақтау контейнерлеріне жібереді, бұл оларды келесі көтергіштердің сорғы станцияларынан ерекишелендіреді.

Мұндай станцияларда жеткізуді реттеудің көрінетін қажеттілігінің болмауына байланысты, әдетте, дискретті реттеу әдісі қолданылады, ол сорғыларды жинақтау ыдысындағы судың минималды деңгейіне жеткенде іске қосудан және жоғарғы деңгейге жеткенде сөндіруден тұрады, осылайша резервуардағы деңгейді сақтайды. Резервуарды толтыру кезінде резервуардағы деңгей статикалық қысыммен жинақталады, ол су қоймасының деңгейі арасындағы геодезиялық биіктікке байланысты, ол да

өзгеруге бейім және резервуардың түбі. Статикалық қысымның бұл ауытқуы электр энергиясының артық шығынын тудырады. Электр энергиясының шығынын азайту мақсатында үздіксіз реттеу әдісін қолдану кезінде мүмкін болатын сумен жабдықтау мен су тұтыну арасындағы теңдікті қамтамасыз ету қажет.

Зерттеу барысында үздіксіз реттеу әдісімен сорғыны беру суды тұтынумен теңдікке ұмтылады деген қорытындыға келді. Нәтижесінде тұтынылатын қуат қазіргі уақытта қажетті қуатқа тең болады, бұл статикалық бастың тұрақтануына және сәйкесінше ыдыстағы су деңгейіне әкеледі. Бұл тұрақтандыру энергия шығындарының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі.

Кілтті сөздер: жиілік түрлендіргіші, сорғы станциясы, энергия тиімділігі, электр қозғалтқышы, Simulink.

* R. B. Kosymbaev¹, Yu. F. Bulatbaeva², F. N. Bulatbaev³

^{1,2,3}Abylka Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION WITH CONTINUOUS AND DISCRETE FLOW CONTROL AT THE PUMPING STATION OF THE FIRST LIFT

The article is devoted to the results of a study of methods for regulating pumping stations of the first lift. These pumping stations most often supply water to storage tanks, which distinguishes them from pumping stations of the following lifts.

Due to the lack of apparent need to regulate the supply at such stations, a discrete control method is usually used, which consists in starting the pumps when the minimum water level in the storage tank is reached and then switching off when the upper level is reached, thereby maintaining the level in the tank. When filling the tank, the level in the tank is summed up with static pressure, which depends on the geodetic height between the reservoir level, which is also prone to changes in the bottom of the tank. These fluctuations in static pressure lead to excessive

consumption of electricity. In order to reduce energy consumption, it is necessary to ensure equality between supply and water consumption, which is possible when using the continuous control method.

In the course of the study, it was concluded that with a continuous control method, the pump supply tends to be equal to water consumption. As a result, the power consumption is equal to the currently required power, which leads to stabilization of the static pressure and, accordingly, the water level in the tank. This stabilization leads to a significant reduction in energy consumption.

Keywords: frequency converter, pumping station, energy efficiency, electric motor, Simulink.

**К. Т. Кошекoв¹, Ю. Н. Тановицкий², *А. К. Кошекoв³,
Я. М. Курбанoв⁴, Р. К. Тoғамбаeв⁵**

^{1, 2, 3, 4}Академия гражданской авиации, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9586-2310>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5217-1245>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7373-1494>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-600X>

⁵Институт транспорта и связи, Латвия, г. Рига

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0045-5764>

*e-mail: a.k.koshekov@gmail.com

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБУЧАЮЩИХ ТРЕНАЖЕРОВ РАЗБОРКИ И СБОРКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D VR

В данной статье представлен процесс программирования обучающих тренажеров в трёхмерной виртуальной среде с использованием технологий виртуальной реальности. В условиях стремительного развития технологий и растущих требований к качеству и безопасности авиационного транспорта, использование инновационных методов для обслуживания и ремонта авиационной техники становится неотъемлемой частью эффективного управления современным авиапарком.

Разработанные тренажеры могут быть использованы в качестве реально-виртуальных лабораторных стендов в процессе обучения студентов и переподготовки специалистов на предприятиях. Применение подобных технологий позволяет расширить объем лабораторной базы в учебных заведениях и облегчить процесс передачи знаний от старшего поколения к младшему. В статье в качестве объекта исследования выбран

процесс разборки и сборки винта клапана вертолета Ми-8, применяемого специальными службами Республики Казахстан.

В статье описаны основные проблемы, с которыми сталкивается инженер-разработчик при формировании сценария работы тренажера, пути решения данных проблем, а также язык описания и основные сущности. Результатом проведенного исследования является список рекомендаций для решения проблем, описанных выше. Результаты были апробированы на авиаремонтном предприятии Республики Казахстан.

Ключевые слова: трехмерная среда, виртуальная реальность, учебный тренажер, автоматизация процессов, сценарии обучения.

Введение

Технологии виртуальной реальности позволяют создавать реалистичные модели машин и агрегатов [1], что открывает широкие возможности для обучения в области строительства, машиностроения, авиастроения, наукоемких производств, на транспорте и во многих других сферах. Важным классом задач, где применение 3D VR может дать значительный экономический эффект являются задачи на сборку и разборку агрегатов [2]. В отличие от персонального компьютера, обладающего мониторами и манипулятором мышь современные 3D VR технологии предлагают очки с панорамным обзором [3], а также на много более продвинутую систему отслеживания положения головы и глаз, а также кистей рук [4]. Очки-мониторы дают возможность обучаемому видеть устройство и его составные части, наглядно передают представление о принципе работы, работать с устройствами на стадии проектирования, а также выполнять различные упражнения, связанные с его ремонтом и обслуживанием [5]. Несмотря на прогресс, связанный с развитием компьютерных чипов и ПО, 3D VR тренажеры остаются дорогими, причем одним из самых дорогих компонентом в процессе их создания остается программирование [6]. В данной статье рассматриваются подходы к сокращению затрат проектированию таких тренажеров.

Материалы и методы

Программирования тренажеров по разборке и сборке связано с преодолением следующих основных проблем:

1 Создание методического и технического сценариев. Методический сценарий создается в терминах предметной области. Методический сценарий должен отвечать на вопросы: кого и чему обучает данное (3D VR) упражнение; что является результатом обучения; какими методами, способами, упражнениями достигается результат обучения; как объективно можно измерить этот результат. Технический сценарий описывает сцену с перечнем всех элементов, а также конкретную последовательность взаимодействия всех 3D элементов объекта с обучаемым уже в терминах создаваемого программного обеспечения (далее ПО) [7].

2 Создание 3D моделей агрегатов. Для создания тренажеров обучения процессам разборки и сборки наиболее удобными являются CAD модели, создаваемые в таких пакетах как Компас 3Д, Autocad, SolidWorks и т.п. – поскольку на ряду со стандартными средствами создания, они предлагают развитые инструменты поддержки сборок [8]. Иногда 3D модели доступны непосредственно из технической документации агрегата, для которого разрабатывается тренажер, иногда они могут быть получены путем 3D сканирования агрегатов и их деталей.

3 Моделирование специфической физики твердых тел. В реальном мире взаимодействие контактирующих тел приводит к микродеформациям их молекулярной структуры, в результате которой возникают силы трения и отталкивания. Упрощенные модели механически контактирующих тел рассматриваются в теоретической механике. Если, например рассмотреть винтовое соединение двух тел то придётся столкнуться с необходимостью обсчитывать силы, возникающие в результате взаимодействия сложных резьбовых поверхности несколько десятков раз в секунду чтобы обеспечить режим «реального времени» [9]. Не утверждая, что это невозможно в принципе, на современном этапе развития вычислительной техники, это вряд ли целесообразно, поскольку потребует огромных вычислительных затрат и множества дополнительной информации, не актуальной в контексте применения тренажеров.

4 Программирование сценария обучения. На этом этапе происходит связывание 3д объектов и необходимого алгоритма действий обучаемого над ними [10]. Заметим, что один и тот же агрегат, может быть, как правильно, так и неправильно собран множеством способов, например

одинаковые винты могут быть использованы с разными подходящими резьбовыми отверстиями, и последовательность закручивания винтов может быть различной. В связи с этим так же актуальной является задача оценивания действий обучаемого.

5 Ускорение и упрощение процессов создания тренажеров, что в конечном счете приведет к снижению стоимости и массовому внедрению, заключается в создании среды дающей возможности разработчику концентрироваться только на агрегате и процессе обучения избегая, например, низкоуровневого программирования, или внесения иных изменений в программное ядро тренажера.

Результаты и обсуждение

В качестве путей решения поставленных проблемных вопросов, авторы предлагают следующие практические результаты:

1. Предлагается процесс сборки разборки рассматривать как последовательность бинарных операций {триггер, анимация}. Триггер – программный компонент, срабатывающий после выполнения обучаемым требуемого действия, например, совмещение им нужных деталей друг с другом. Сработавший триггер при этом активирует анимацию, отображающую движение (или новое состояние объекта) проигрываемую плеером. В конце или начале анимации могут быть выполнены дополнительные действия, например, отделение инструмента от детали, пример неправильной сборки приведен на рисунке 1.

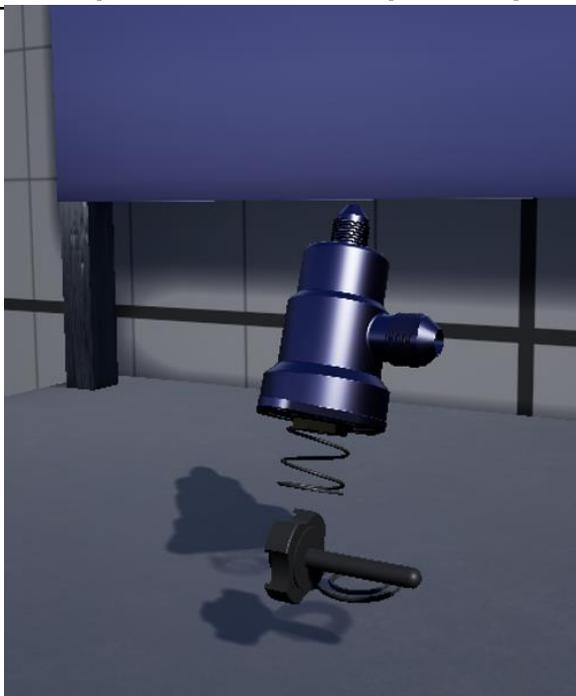


Рисунок 1 – При неправильной ориентации и незафиксированных деталях, они могут «высыпаться» из слотов под действием силы тяжести

По сути, при этом выполняется переход от аналогового моделирования (где динамика в основном описывается системами дифференциальных уравнений) к цифровому - говоря точнее базирующемуся на очереди событий моделированию. Такие подходы, например, распространены в языках моделирования Verilog, VHDL и т.п. В отличие от прямого моделирования физики экономия вычислительных ресурсов достигает 2-3 и более порядков.

В этом случае, задача обучаемого, технически, сводится к необходимости активировать требуемую последовательность триггеров. Соответственно, задача обучающего сформировать такую обучающую последовательность. А задача программиста методики обучения разместить триггеры на 3D моделях, установить начальные, конечные,

промежуточные, точки анимации, задать последовательность сборки или разборки, добавить вспомогательные аудиовизуальные обучающие или справочные материалы в нужные фазы упражнения, а также реализовать алгоритм оценивания.

2 Программирование методики обучения может показаться, если не сложным, то трудоемким процессом. Поэтому здесь также удобно ввести определенные универсальные языковые конструкции для описания путей разборки и сборки объектов. Ниже будут рассмотрены основные сущности и методы такого языка Тренажеров Разборки Сборки, далее сокращенно ТРС.

3 Снизить стоимость проектирования тренажера можно за счет создания универсального маршрута формирования тренажера и на его основе Wizard-а, который мог бы предложить ответить на конкретную последовательность вопросов и сформировать шаблон программы, а также другого специализированного ПО.

4 За счет применения ИИ, на определенных этапах, создания тренажеров. Применение ИИ возможно и полезно, однако, применяя ИИ также важно четко понимать в какой общей структуре происходят процессы обучения, понимать основные этапы и сущности, понимать, что конкретно требуется от ИИ и как оценивать качество ИИ материалов. Сложно или даже невозможно произвести валидацию, а соответственно и сертифицировать знания обучаемого, если такой процесс вдруг окажется не до конца прозрачен.

Как сказано выше для упрощения и удешевления тренажеров целесообразно создать специализированные языковые конструкции для управления обучающим материалом. Здесь мы ограничимся рассуждением на тему каким минимальным множеством конструкций должен обладать такой язык

1 Понятия Class и Object. Class это тип детали агрегата, а Object – конкретный экземпляр объекта, например тип (Class)- «Винт М5» и 4 экземпляра этого винта (Object-ы), которые используются для закрепления крышки агрегата. Любая деталь, отображаемая в 3D VR, существует, с одной стороны, в среде графического движка, например, Unreal Engine (далее сокращенно UE) в форме StaticMesh или SkeletalMesh объекта со своими материалами и текстурами. Эта часть детали должна быть

скомпилирована в среде UE, а, с другой стороны, на языке описания ТРС ей соответствуют записи, которые управляют логикой разборки и сборки. Связь между этими сущностями посредством интерфейсов интерпретатора языка ТРС (рис 1.). Такой подход позволят отделить графические сущности от базовой логики тренажера и сделать ядро ПО стабильным, т.е. без необходимости внесения каких-либо изменений в него при создании новых тренажеров.

2 Слот, Терминал и Сокет. Слот - место в главной детали, такой как основание, шасси и т.п., к которому в процессе сборки прикрепляется другая деталь или детали, именуемые терминалами. Слот хранит список всех типов своих терминалов и имена сокетов на них, но не наоборот. Следует отметить, что деление какую деталь считать слотом, а какую терминалом должен выбирать методист исходя из своих соображений. В общем случае Терминал может также быть составным, т.е. сам содержать слоты, поэтому перед соединением деталей следует проверять готовность терминала к текущему этапу сборки, пример проиллюстрирован на рисунке 2.

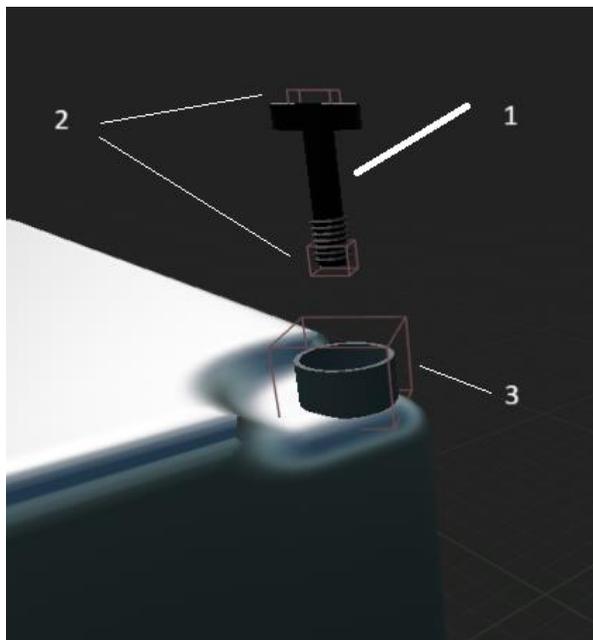


Рисунок – 2

Пример, иллюстрирующий понятия: слот, терминал, сокет. На рисунке обозначено 1 винт, являющийся терминалом; 2 сокет, нижний активизирует соединение винта для крепления крышки, верхний сокет служит для применения инструмента (отвертки); 3 – слот, который принимает как колпачек, так и сам винт.

3 ОТ – ориентир-точка — это пара {Кватернион, 3D вектор}. Кватернион – задает вращение (ориентацию) в 3D пространстве, а вектор задает расположение (точку) в этом пространстве. ОТ может быть как абсолютной, т.е. с отсчетом в системе координат виртуального мира, так и относительной – в системе координат детали. При помощи ОТ задается расположение триггеров, начальные, конечные и промежуточные точки анимации, положения деталей друг относительно друга и т.д. ОТ удобно располагать по сцене и внутри деталей агрегатов как скрытые, не визуальные объекты непосредственно в среде проектирования 3D CAD.

4. Триггер – программный код, активирующий событие, являющееся реакцией на действие обучаемого. Он является центральным элементом предлагаемой модели тренажеров. Любой триггер содержит ссылку на

слот, тип взаимодействующей со слотом детали и эмитирует события Вкл или Выкл, обрабатываемые интерпретатором ТРС. Можно выделить шесть типов триггеров в зависимости от условий его срабатывания. Триггеры первого типа - самые простые срабатывают при совмещении деталей. Такими триггерами удобно моделировать, например, нажатие на кнопки. Триггер всегда оперирует с ОТ объектами. Пусть представлен как $OT = [q, x]$, где q кватернион, а x – 3d вектор. Пусть кватернион представлен в виде $q = [v, w]$, где v трехмерный массив и w - скаляр. Любой графический движок легко конвертирует локальные ОТ из локальных координат в глобальные - ОТ относительно сцены или 3d мира. Пусть имеются две пары $OT1$ и $OT2$ в глобальной системе координат и кватернионы q этих пар нормированные. Тогда условие проверки срабатывания триггера первого типа будет выглядеть:

$$\|OT1.x - OT2.x\| < d \quad (1)$$

где d – допустимая величина разности расстояний деталей.

Триггеры второго типа помимо расстояния требуют правильной ориентации одной детали относительно другой. Т.е. когда выполнено условие (1), а также:

$$\text{Norm}(OT1.v) * \text{Norm}(OT2.v) > \cos(\alpha), \quad (2)$$

Здесь Norm – функция нормировки, а α – ограничение на разницу углов первой и второй деталей в пространстве, дополнительно следует проверить совпадение знаков компонент w для $OT1$ и $OT2$. Они должны совпасть иначе к углу расхождения следует прибавить 180 градусов. Таким образом достаточно найти скалярное произведение векторов для контроля совпадения положения деталей, где требуется только совмещение осей. Если же требуется совпадение не только осей установки деталей, но и угла их поворота в плоскости перпендикулярной оси установки, то такое ограничение дополнительно к условиям (1) и (2) удобно проверять по следующей приближенной формуле:

$$OT1.w - OT2.w < \sin(\beta/2), \quad (3)$$

где β задает ограничение на такой угол. Триггеры третьего типа срабатывают при наличии линейной или угловой скорости, например, чтобы активировать закручивание винтового соединения, можно настроить условие триггера на вращение по часовой стрелке (относительно слота), а откручивание – против. Триггеры четвертого типа реагируют на ускорения, при помощи таких триггеров можно, например, «высыпать» не закрепленные детали, если они неправильно ориентированы в поле тяжести или ускорены иным способом. Триггеры пятого типа представляют собою таймеры, связанные с частями агрегатов. Триггеры шестого типа – комбинированные, представляющие собою несколько триггеров 1-5 типов, объединенных логическим условием.

5. **VConnection** – бинарное соединение (или разъединение). Служит для описания элементарной сборочно-разборочной операции. **VConnection** содержит: триггер; приоритет соединения, посредством которого интерпретатор TPC определяет следует его активировать в данный момент или нет; ссылку на данные для анимации этого соединения; оценку действия обучаемого в форме правильно или неправильно; **actions** – последовательность действий таких как, например, отделение гаечного ключа от агрегата после проигрывания анимации показавшей затягивания винта. Бинарное соединение, в общем случае, отличается от сборочного соединения. Потому что сборочное соединение может состоять из нескольких бинарных соединений. Например, сборочное соединение «установить винт Б в деталь А» может быть разложено на следующую последовательность: закрепить деталь А в тисках, снять пылезащитный колпачек, нанести смазку, установить винт Б, присоединить к головке винта Б ключ С, затянуть винт с необходимым усилием, отсоединить ключ С, освободить деталь А из тисков... Таким образом основной задачей интерпретатора языка TPC является обработка сущностей **VConnection**.

6. **Anim** – содержит требования к проигрыванию анимации включая: время анимации, набор ОТ для анимации, способ анимации, например, продольное движение с вращением и т.п.

7. **Content** – часть вспомогательного материала, такая как, подсказка, справочное руководство, предупреждение в том числе в аудиовизуальной форме, меню и т.п.

Информация о финансировании (при наличии)

Исследование проведено в рамках проекта Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан АР19680080 «Разработка тренажерного комплекса с системой инженерной поддержки технической эксплуатации военной и специальной авиационной транспортной техники»

Выводы

Последовательность действий программиста тренажера с использованием технологии TPC может быть следующей. На входе он получает сценарий и совокупность 3D объектов. На первом этапе ему следует рассмотреть порядок разборки или сборки и разложить весь процесс до элементарных бинарных соединений (BConnection), а также сделать выбор относительно типов используемых триггеров, создав, таким образом, описание упражнения на языке TPC. На втором этапе – расставить ОТ на сцене и внутри 3D объектов. На третьем этапе откомпилировать 3D объекты в среде UE, произвести отладку. При необходимости доработать тренажер, повторив действия на этапах 1-3. На рисунке 3 представлена структура, разработанного тренажера.

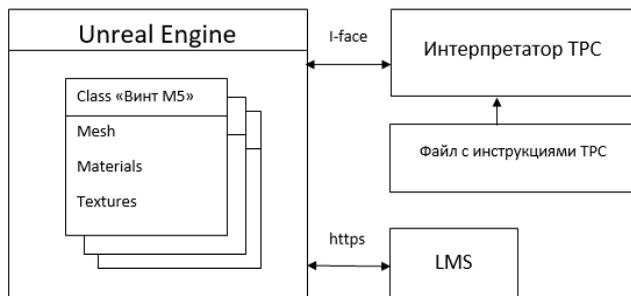


Рисунок 3. Структура тренажера разборки и сборки. На рисунке: Unreal Engine – движок фирмы Epic Games; LMS (Learning Management System) – система управления обучением (moodle)1; I-face – интерфейс TPC/UE; https протокол к удаленному серверу, регистрирующему результаты обучения

Авторы верят в то, что технологии 3D VR в задачах разборки и сборки дойдут до массового потребителя в ближайшие годы, а для некоторых типов агрегатов 3D VR модели станут промышленным стандартом. Но это произойдет после снижения их стоимости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Barricelli, B.R., Casiraghi, E., Fogli, D.** A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. IEEE Access, 2019, 7, art. no. 2953499. <https://10.1109/ACCESS.2019.2953499>

2 **Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C.** Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access, 2020, 8, art. no. 9103025. <https://10.1109/ACCESS.2020.2998358>

3 **Singh, M., Srivastava, R., Fuenmayor, E., Kuts, V., Qiao, Y., Murray, N., Devine, D.** Applications of Digital Twin across Industries: A Review. Applied Sciences (Switzerland), 2022, 12 (11), art. no. 5727. <https://10.3390/app12115727>

4 **Chen, Y.** Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. Engineering, 2017, 3(5), pp. 588-595. <https://10.1016/J.ENG.2017.04.009>

5 **Min, Q., Lu, Y., Liu, Z., Su, C., Wang, B.** Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry. International Journal of Information Management, 2019, 49, pp. 502-519. <https://10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.020>

6 **Zheng, Y., Yang, S., Cheng, H.** An application framework of digital twin and its case study. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019, 10 (3), pp. 1141-1153. <https://10.1007/s12652-018-0911-3>

7 **Chen, Z., Zhang, H.** Research on visualization of environmental landscape design based on digital entertainment platform and immersive VR experience, 2025, 52, 100820. <https://10.1016/j.entcom.2024.100820>

8 **Lindquist, M., Lange, E., Kang, J.** From 3D landscape visualization to environmental simulation: The contribution of sound to the perception of virtual environments. Landscape and Urban Planning, 2016, 148, pp. 216-231. <https://10.1016/j.landurbplan.2015.12.017>

9 **Portman, M.E., Natapov, A., Fisher-Gewirtzman, D.** To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and

environmental planning. Computers, Environment and Urban Systems, 2015, 54, pp. 376-384. <https://10.1016/j.compenvurbsvs.2015.05.001>

10 **Shan, P., Sun, W.** Research on landscape design system based on 3D virtual reality and image processing technology. Ecological Informatics, 2021, 63, 101287. <https://10.1016/j.ecoinf.2021.101287>

*К. Т. Кошекoв¹, Ю. Н. Тановицкий², *А. К. Кошекoв³, Я. М. Курбанoв⁴,
Р. К. Тоғамбаев⁵*

^{1, 2, 3, 4}Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁵Көлік және коммуникация институты, Латвия, Рига қ.

3D VR КӨМЕГІМЕН ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІ БӨЛШЕКТЕУГЕ ЖӘНЕ ҚҰРАСТЫРУҒА АРНАЛҒАН ОҚУ ТРЕНАЖЕРЛАРЫН БАҒДАРЛАМАЛАУ

Бұл мақалада виртуалды шындық технологияларын пайдалана отырып, үш өлшемді виртуалды ортада тренажерларды оқытуды бағдарламалау процесі ұсынылған. Технологияның қарқынды дамуы және авиациялық көліктің сапасы мен қауіпсіздігіне талаптардың артуы жағдайында авиациялық техникаға техникалық қызмет көрсету мен жөндеудің инновациялық әдістерін қолдану қазіргі заманғы әуе кемелері паркін тиімді басқарудың құрамдас бөлігіне айналууда.

Жасалған тренажерларды кәсіпорындарда студенттерді оқыту және мамандарды қайта даярлау процесінде нақты виртуалды зертханалық стендтер ретінде пайдалануға болады. Мұндай технологияларды пайдалану білім беру ұйымдарындағы зертханалық базаның көлемін кеңейтуге және аға ұрпақтан жас ұрпаққа білім беру процесін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Мақалада зерттеу нысаны ретінде Қазақстан Республикасының арнайы қызметтері пайдаланатын Ми-8 тікұшағының клапан бұрандасын бөлшектеу және құрастыру процесі таңдалған.

Мақалада әзірлеуші инженер симулятор сценарийін жасау кезінде кездесетін негізгі мәселелер, осы мәселелерді шешу

жолдары, сонымен қатар сипаттама тілі мен негізгі нысандары сипатталған. Зерттеу нәтижесі жоғарыда сипатталған мәселелерді шешуге арналған ұсыныстар тізімі болып табылады. Нәтижелер Қазақстан Республикасының авиациялық жөндеу кәсіпорнында сынақтан өтті.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

*K. T. Koshekov¹, Yu. N. Tanovitsky², *A. K. Koshekov³, Ya. M. Kurbanov⁴, R. K. Togambaev⁵*

^{1, 2, 3, 4}Civil Aviation Academy, Republic of Kazakhstan, Almaty

⁵Transport and Telecommunication Institute, Latvia, Riga

PROGRAMMING TRAINING SIMULATORS FOR DISASSEMBLING AND ASSEMBLING SOLID BODIES USING 3D VR

This article presents the process of programming training simulators in a three-dimensional virtual environment using virtual reality technologies. In the context of rapid technological development and growing demands for the quality and safety of air transport, the use of innovative methods for servicing and repairing aircraft is becoming an integral part of the effective management of a modern aircraft fleet.

The developed simulators can be used as real-virtual laboratory stands in the process of training students and retraining specialists at enterprises. The use of such technologies allows expanding the volume of the laboratory base in educational institutions and facilitating the process of transferring knowledge from the older generation to the younger. In the article, the process of disassembling and assembling the valve propeller of the Mi-8 helicopter used by special services of the Republic of Kazakhstan is chosen as the object of study.

The article describes the main problems faced by the development engineer when forming a simulator operation scenario, ways to solve these problems, as well as the description language and main entities. The result of the study is a list of recommendations for solving the problems

described above. The results were tested at an aircraft repair enterprise of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: three-dimensional environment, virtual reality, training simulator, process automation, training scenarios.

МРНТИ 44.39

***М. Б. Кошумбаев¹, С. С. Исенов², М.А. Ауельбек³,
Г. С. Нурмаганбетова⁴, Д.М. Утаева⁵**

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, г. Астана

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-1905>

²ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

³ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-8055-5018>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2839-6645>

*e-mail: marat7759@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ И В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

В данной научной статье рассмотрены основные проблемы, перспективы и направление развития энергетики в мире и в Республике Казахстан. Изменения климата, а также ухудшение климатических условий предусматривают критический анализ экологической ситуации и выявление необходимых мер по противодействию чрезвычайных ситуации, вызванных выбросами углекислого газа промышленными предприятиями и населенными пунктами. Новизна исследований заключается в определении основных трендов, которые влияют на экологическую ситуацию в Казахстане. Для этого проанализированы мировые тренды, которые заставляют все страны переходить на низкоуглеродное развитие с последующей трансформацией в безуглеродную экономику. В статье даются новые казахстанские технологии, которые призваны снизить выбросы углекислого газа, улучшить режим работы тепловых угольных станции, повысить эффективность ВИЭ. Данные казахстанские технологии могут быть включены в План декарбонизации страны согласно Стратегии углеродной нейтральности Казахстана до 2060 года. По результатам анализа выявлены основные производители парниковых газов. Для отражения влияния трендов на все сферы экономики

предложены принять новые законодательные акты и трансформировать действующие законы.

Ключевые слова: возобновляемая энергия, ветроэнергетика, гидроэнергетика, ветротурбина, ветер, альтернативная энергетика.

Введение

На сегодняшний день мировая энергетика в целом, и в частности в Республике Казахстан, развивается в основном на применении углеводородного топлива и гидропотенциала рек. Под влиянием вредных и парниковых газов, которые деструктивно влияют на экологию Земли и приводят к опасным изменениям климата, происходят катастрофические экологические явления (крупные лесные пожары, обезвоживание территории и русел рек и водоемов, таяние ледников в горах и на полюсах Земли). Как показывает анализ сложившейся ситуации с климатом, отрицательное влияние на него оказывает энергетика, добыча и переработка нефтегаза и угля. Анализ показывает, на энергетический сектор находится в зависимости в основном от трех параметров - под влиянием трех основных трендов: энергоэффективность (энергосбережение и снижение CO₂); развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ); безопасная энергетика (ядерные и водородные технологии). Результаты последних исследований показывают, что наиболее высокие результаты показывает экономика США.

В связи с принятыми обязательствами по сокращению CO₂ энергетика США имеет следующий краткосрочный план (рисунок 1) [1].

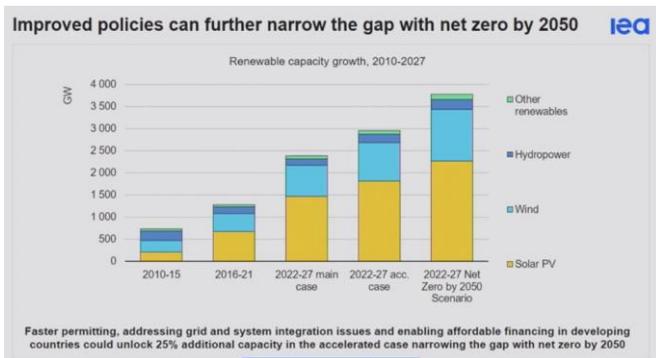


Рисунок 1 – Планы США по развитию ВИЭ

Основной упор делается на использование солнечных панелей. Не менее важным является развитие ветроэнергетики [1]. Дальнейшее развитие солнечной энергии может привести к результатам, сопоставимой с угольной генерации к 2027 году. К этому времени ветроэнергия сравняется с гидроэнергией. В тоже время, увеличение ВИЭ в энергосистеме приводит к необходимости создания резервных источников, которыми могут быть аккумуляторы и тепловые станции в виде ТЭЦ, АЭС и газовых турбин.

В мировом масштабе первенство по инвестициям в солнечную энергию прочно занимает Китай [1]. Совокупные инвестиции развитых стран пока не достигли уровня КНР. Сдерживающим фактором развития солнечных панелей и коллекторов является низкий КПД и высокая стоимость вырабатываемой энергии. Кроме того, для размещения солнечных станций требуются большие территории, что не всегда возможно в густонаселенных территории. Другим отрицательным фактором является сложность утилизации отработанных солнечных панелей. В настоящее время производство кремния также считается грязным производством приводящие к вредным выбросом и эмиссии CO₂.

Несмотря на низкую экономическую целесообразность Китай продолжает инвестировать в возобновляемую энергию и также лидирует по установленной и планируемой мощности возобновляемой энергии. К 2027 году в этой стране планируют довести генерацию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) свыше 1000 ГВт, тогда как ЕС планирует возобновляемую энергию довести до 300 ГВт, а США до 270 ГВт [1].

Анализ мировой энергетики показывает, что при имеющихся темпах развития возобновляемой энергии уже к 2025 году мировая выработка ВИЭ сравняется с угольной генерацией [1]. При таком соотношении возникает большие риски по дисбалансу энергосистемы, так как возобновляемые источники вырабатывают непостоянную энергию. В этом случае требуется замещающие резервные источники в виде постоянной генерации (ТЭЦ, АЭС, газовые станции и нефтегазовые турбины).

Как показано выше, политика энергоперехода пока невозможна без участия углеводородного топлива. Актуальностью исследований связанных с декорбиназации энергетики можно отметить три основные тренды. Данные тренды требуют разработки новых технологий, которые приведут к снижению вредных выбросов, эмиссии CO₂ и твердым бытовым отходам. К сожалению, мировые разработки не всегда соответствуют местным условиям и во многих случаях требуются их адаптация существующим энергосистемам. Для Казахстана это актуально тем, что имеющейся энергетические технологии не учитываются при разработке стратегических планов и инфраструктурных проектов. Строительство новых объектов ВИЭ будут зависеть от финансирования. В настоящее время привлечение инвестиции в проекты возобновляемой энергии достаточно дороги. Это связано с тем, что инвесторы заинтересованы в быстро окупаемых проектах. Они предпочитают проекты, которые не связаны с технологическими рисками. В этой связи требуется разработка новых финансовых инструментов для стимулирования внедрения инноваций привлечением не дорогих инвестиций.

Материалы и методы

Учитывая мировой опыт в Республике Казахстан, разработали и утвердили Стратегию углеродной нейтральности к 2060 году. В рамках данной Стратегии рассматриваются различные сценарии (рисунок 6). Несмотря на принятую стратегию план ее реализации не включает новые достижения науки и техники, особенно казахстанского содержания. Тем не менее, ниже мы приведем новые разработки, которые позволят снизить выбросы CO₂, а также выполнить обязательство Казахстана по Парижскому соглашению.

Плановые и фактические выбросы парниковых газов (ПГ) показаны на рисунке 7, в котором отражены все отрасли экономики, приводящие к

эмиссии CO₂. Из рисунка 7 видно, что основным эмитентом ПГ является электроэнергетика.

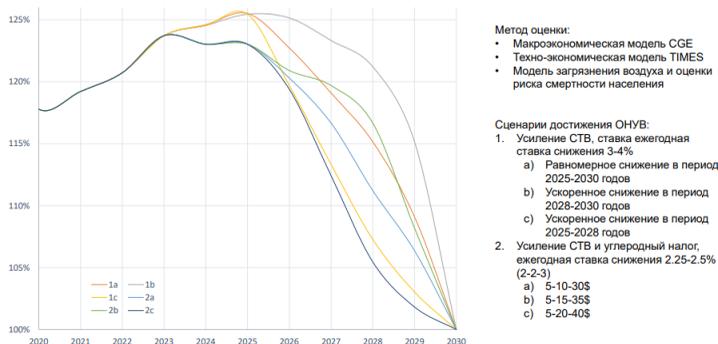


Рисунок 6 – Сценарии снижения выбросов в Казахстане

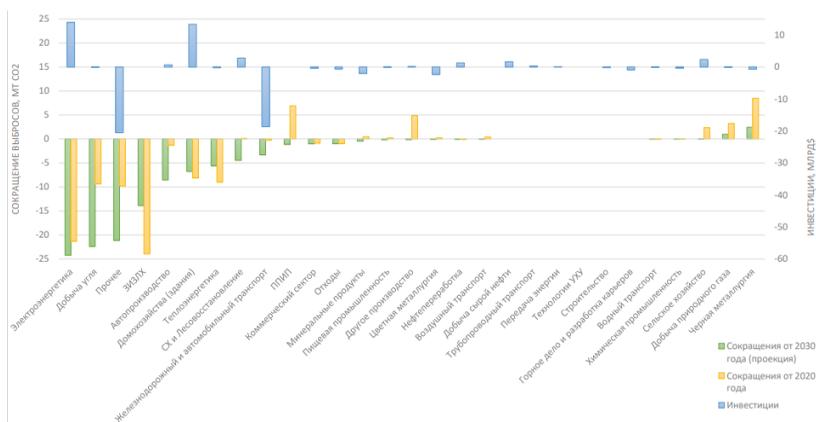


Рисунок 7 – Фактические и плановые сокращения выбросов ПГ

Базовой энергетикой Казахстана является угольная генерация, которая составляет более 70% в энергосистеме. Исследования по снижению выбросов углекислого газа в энергетическом секторе проводились в конце прошлого века и продолжают в настоящее время. Одним из важных направлений данных исследований является безотходное сжигание Экибастузского угля. Для решения этих проблем многие ученые – энергетики Казахстана разработали различные технологий по

декарбонизации тепловых станций Казахстана. Для снижения выбросов CO_2 и повышения эффективности ТЭС и ТЭЦ предлагается использовать безотходную технологию сжигания Экибастузского угля, автором которой является доктор технических наук Диханбаев Б.И. [2]. Основная идея данной технологии заключается в добавлении реактора в существующую схему ТЭЦ и ТЭС. При этом вся технологическая линия производство энергии не изменяется.

Из литературных данных [2] известно, что ресурсы возобновляемой энергии (энергия воды, ветра и солнце) на территории Казахстана имеет высокое значение, примерно оценивается более один триллион кВт*ч. Новая энергетическая политика, связанная с энергопереходом на низкоуглеродное развитие, требует новых подходов по дальнейшему развитию и модернизации существующей энергосистемы Казахстана. Развитие мировой энергетики показывает постоянный рост на зеленую энергию и предполагается увеличение возобновляемой энергии к 2050 году до 35% в энергетическом балансе мировой энергетике. Опыт зарубежных стран свидетельствует, о том, что развитию зеленой энергии отводится очень большое внимание и разрабатываются серьезные стратегические программы. Это связано с тем, что возобновляемая энергия практически не исчерпаема, ее производство не зависит от цен энергоносителей на мировых рынках и является источником снижения углекислого газа, что преследует в конечном итоге защиту экологии от изменения климата.

Казахстанские разработки в области ветроэнергетики имеют различные направления: ветротурбины с горизонтальной осью вращения, ветротурбины с ротором Дарье [3], ветротурбины карусельного типа [4], ветротурбины Болотова А.В. [5], ветровые устройства Буктукова Н.С. [6], вихревое ветроустройство [7]. По всем направлениям ветроэнергетики были проведены теоретические и экспериментальные исследования. Получены патенты, разработаны экспериментальные и демонстрационные модели. Многие из перечисленных ветротурбин презентовались на выставках, а также на специализированной международной выставке ASTANA EXPO-2017, проведенной в Казахстане.

Как уже упоминалось выше, Казахстан обладает большим потенциалом возобновляемой энергии, в особенности ветровой, водной, солнечной энергии и представлены ветровыми станциями,

гидравлическими турбинами и фотовольтаникой. Как известно, на территории Казахстана преобладает ветровая энергия, которой имеет высокий потенциал и осредненная ветровая скорость составляет более 7 м/с. Если рассматривать территорию Казахстана 50 тыс. кв. км, которая не превышает 2% площади страны, то выработка электроэнергии на этой территории может быть достигнут один триллион. кВтч в год. Такое количество электроэнергии в несколько раз превышает сегодняшнее потребление электроэнергии по всей стране и примерно составляет 1,8 трлн. кВтч. В некоторых районах потенциал ветра может составить 10 МВт на кв.км [8]. Несмотря на высокий энепотенциал ветроэнергетика в Казахстане развивается слабо. Дело в том, что природа Казахстанского ветра отличается от Европейского региона, прибрежных районах Китая, США и Австралии. Ветер в Казахстане обладает вихревой структурой и высокими скоростями. Как известно, существующие ветровые станции работают до 25 м/с, при превышении данного значения оборудование не работает. В тоже время даже в Астане – столице Казахстана скорость ветра могут превышать 50 м/с, как это было 11 января 2018 года. Высоких скоростей ветер достигает и в других регионах нашей страны, например Жонгарские ворота, Шелекский коридор и др. Поэтому в Казахстане требуются новые типы ветроустановок которые могут выдержать ветровую нагрузку при скоростях более 25 м/с.

Казахстанские разработки связаны с использованием вихревой структуры ветра. Чтобы повысить эффективность и постоянство выработки энергии есть возможность комплексного использования ветрового устройства с гидротурбиной или биогазом.

Гидроэнергетика занимает около 11% от всей генерирующей мощности страны. Гидропотенциал для развития гидроэнергетики связан в основном с малыми реками, так как все крупные реки уже освоены, и составляет 7,6 млрд кВтч в год. Наиболее вероятны развитие малой и мини гидроэнергетики в Восточно-Казахстанской области и на юге страны (Алматинская и Южно-Казахстанские области), где имеются горные и предгорные местности. В этих регионах протекает около 2000 рек, из которых 5% рек пригодны для строительства малых ГЭС (менее 30 МВт). Выработка электроэнергии от малых ГЭС составляет около 700 млн кВтч [9]. Развитие гидроэнергетики требует строительства новых

гидротехнических сооружений, а также модернизации и ремонта существующих водохранилищ. Ситуация усугубляется отсутствием закона о гидротехнический сооружений и правил по строительству и эксплуатации водных объектов. Строительство новых водохранилищ позволит создать систему аккумуляции энергии, а также обеспечить водой населенные пункты и сельскохозяйственные предприятия.

В Казахстане имеются запатентованные разработки мини-ГЭС, способные преобразовать низкопотенциальную энергию воды при напоре 1,5 – 3 метра и скоростях потока воды менее 2 м/с. Развитием маломощных ВИЭ являются подводные мини-ГЭС, способные функционировать по всей длине русла реки. Применение прямоточных гидротурбин практически экологически безопасны для флоры и фауны, монтаж и демонтаж данной конструкции составляет 2-3 часа [10]. Интерес также представляет горные мини-ГЭС, каскадные малые ГЭС. Все эти предложенные инноваций требуют своего внедрения в энергосистему страны, как постоянные источники энергии. Ограничением их применения может быть уменьшение водных ресурсов. В связи с этим, их дальнейшее развитие связано в комплексе с вихревыми устройствами. Для этого потребуются два водохранилища, из нижележащей вода поступает в верхний бассейн посредством вихревого ветрового устройства. При этом генерация постоянной энергии производится прямоточной гидротурбиной расположенной ниже первого водохранилища. Такое комплексное решение применимо по всей территории Казахстана, в том числе в отдаленных регионах, где отсутствует центральное энергообеспечение.

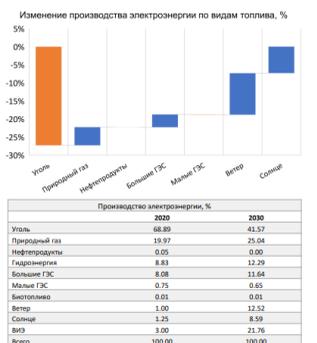
Другим важным барьером развития энергетики является энергосети Казахстана, которые разделены на 3 части: Западная, Центральная и Южная. Если имеется избыток энергии Центральной части, то в Южной части присутствуют постоянный дефицит энергии. Западная часть постоянно зависит от России. В такой ситуации о развитии ВИЭ не приходится рассматривать как позитивный инновационный проект. Для развития ВИЭ потребуются новые электросети, которые будут объединять все энергоисточники страны. Поэтому развитие энергосети Казахстана является стратегически важной задачей для внедрения новых источников возобновляемой энергии, а также транзита электроэнергии зарубежным странам.

Результаты и обсуждения

Систематизация научных исследований и координация деятельности государственных органов требует разработки реального плана действий. Как известно, рассматриваемые проблемы относятся к различным отраслям экономики. Для выполнения обязательств по Парижскому соглашению Казахстану необходимо совместная деятельность нескольких Министерств, поэтому координирующим органом должен быть Правительство Казахстана. Это подтверждает разработанная Министерством экологии и природных ресурсов Республики Казахстан дорожная карта.

В рамках Дорожной карты приводятся данные по развитию секторов энергетики Казахстана, а также данные по сокращению выбросов, связанных с внедрением новых технологии по энергоэффективности, ВИЭ и развитием электросетей (рисунок 8).

Несмотря на разработанный план развития энергетики в нем отсутствуют применение новых зарубежных и казахстанских технологий. В связи с этим, необходимо в новый план декарбонизации экономики внести актуальные казахстанские инновации. Как уже отмечалось, энергетика Казахстана представлена угольными станциями, которые являются основными эмитентами углекислого газа. Для сокращения выбросов CO₂ необходимо широкое внедрение угольной технологии Диханбаева Б.И. Развитие ВИЭ потребует применение вихревых ветровых устройств с использованием прямоточных гидротурбин, а также их комплексное использование с биогазовой установкой.



- LCLM – низкие затраты, низкое обслуживание, 10% выбросов
- BPT – наилучшие практикующие технологии, очищение 50% выбросов
- BAT – наилучшие доступные технологии, очищение 90% выбросов

Рисунок 8 – План развития электроэнергетики Казахстана

Развитие энергетики страны также требует использование новых технологий, связанных с атомными станциями и производством водорода. На сегодняшний день только США начинает внедрять модульные атомные станции. Старые атомные технологии не только опасные в эксплуатации, но и дорогие по стоимости и энергии. Поэтому очень важно поднимать уровень компетенции в атомных технологиях, при которых можно достичь высокого КПД, а также снизить уровень загрязнения окружающей среды и ядерных отходов.

Водородные технологии также имеют высокую стоимость и низкую эффективность. Их производство хранения и транспортировка связаны большими рисками возгорания и взрывов и других чрезвычайных ситуаций. В основном производство водорода производится гидролизом воды. Это очень малоэффективный способ добычи водорода. Для развития водородных технологии требуются новые подходы и схемы получения водородного сырья. Для достижения новых результатов в области атомных и водородных технологий потребуется создание новой инфраструктуры для лабораторных научных исследований, а также трансформации вузовской системы по подготовке кадров по этим направлениям.

Информация о финансировании

Данная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН №АР14872147, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

Основные выводы по переходу энергоемкой экономики к устойчивому развитию. Для развития Республики Казахстан очень важно иметь современную, экологически безопасную экономику. На сегодняшний день энергоемкость экономики снижает конкурентоспособность казахстанской бизнес-среды. Изменение климата также влияет на нашу экономику. В этой связи три мировых тренда заставляют все страны переходить на низкоуглеродное развитие с последующей трансформацией в безуглеродную экономику. Первый тренд – это декарбонизация и повышение энергоэффективности. Второй – развитие и внедрение ВИЭ. Третий – повышение компетенции в области ядерной и водородной технологиях. Для отражения их влияния на все сферы экономики

необходимо принять новые законодательные акты и трансформировать действующие законы:

Расширить действие Закона, касающейся повышение энергоэффективности и ресурсосбережения на все сферы экономики. С целью декарбонизации энергетики рассмотреть возможность целенаправленного внедрения безотходной угольной технологии доктора наук Диханбаева Б.И. для выполнения обязательств по Парижскому соглашению. Также использовать теплонасосные установки для повышения энергоэффективности теплоснабжения в ЖКХ.

2 Расширить действия законодательства в сфере зеленой энергии с фокусом на создание новой инфраструктуры и внедрение разработок в энергосистему Казахстана с последующим развитием транзитных электросетей в южные страны и Китай.

3 Разработать и принять законодательные правила по проектированию, строительству и эксплуатацию гидротехнических сооружений с установлением функции уполномоченного органа.

4 Разработать и принять новый Закон, который обеспечит безопасность ядерных и водородных технологии с разработкой Стратегии развития компетенций по безопасным ядерным и водородным технологиям, инфраструктуры и потребительского рынка.

5. Разработать и принять законодательные акты о развитии магистральных и локальных электрических линии передач с разработкой Концепции сопряжения локальных сетей на базе маломощных ВИЭ с магистральными сетями.

6. Разработать и принять новые законодательства о разработке технологии по утилизации CO₂ и адоптированных ВИЭ к условиям Казахстана и План внедрения новых технологии при переходе на низкоуглеродное развитие до 2030 года и безуглеродное развитие до 2060 года.

7 Разработать и принять новый Кодекс водных ресурсов с учетом энергетических, ирригационных целей и водоснабжения населенных пунктов.

8 Разработать и принять новый Закон о разработке новых финансовых инструментов для стимулирования внедрения инновации и привлечения инвестиции в Казахстанские зеленые проекты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 GWEC (Global Wind Energy Council). Global Wind Report, 2022. Belgium, GWEC, 158 p., https://gwec.net/wp-content/uploads/2022/04/Annual-Wind-Report-2022_screen_final_April.pdf.

2 **Dikhanbaev, B., Dikhanbaev, A., Chandima, G.** Energy Efficient System for Galena Concentrate Processing// IEEEAccess ,Volume 7, 2019. NewJersey, USA. - P. 23388-23395. DigitalObjectIdentifier 10.1109/ACCESS.2019.2895591.

3 **Ершина, А.К., Карымбай, А.Н.** Двухроторный ветроэнергетический агрегат НВИ-Ротор с вертикальной осью вращения. Вестник Казахского национального женского педагогического университета. № 4, 2019. - С. 72-79.

4 **Манатбаев, Р.К., Тулепбергенов, А.К., Сатымбеков, А.М., Шерниязов, К.Е., Узакова, Ж.И.** Об одном стационарном 2-D модели ветротурбины Дарье. // Известия НАН РК, № 2, 2013, - С. 201-206.

5 **Болотов, С.А., Болотов, А.В., Болотов, Н.С.** Ветроэнергетический агрегат Болотова. Патент РФ № 2352809, 2009.

6 **Буктукова, Н.С., Буктукова, Б.Ж., Жакып, А.К., Молдабаева, Г.Ж.** Ветроэлектростанция Буктукова – 5 (Варианты). Патент РК № 25714, бюл. 14, 2012.

7 **Кошумбаев, М.Б., Мырзакулов, Б.К., Кошумбаев, А.М.** Вихревой ветроагрегат. Патент РК № 2291, бюл. 14, 2017.

8 **Тлеуов, А.Х.** Нетрадиционные источники энергии: учеб. пособие / А.Х. Тлеуов. - Астана: Изд-во «Фолиант», 2009. - 248 с.

9 **Достай, Ж.Д.** Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – Т.2. – 330 с. (монография).

10 **Кошумбаев, М.Б., Кошумбаев, А.М., Ержан, А.А., Кошумбаева, А.М.** Гидроагрегат. Патент РК № 2288. Бюл. № 14 от 31.07.2017.

REFERENCES

1 GWEC (Global Wind Energy Council). Global Wind Report, 2022. Belgium, GWEC, 158 p., https://gwec.net/wp-content/uploads/2022/04/Annual-Wind-Report-2022_screen_final_April.pdf.

2 **Dikhanbaev, B., Dikhanbaev, A., Chandima, G.** Energy Efficient System for Galena Concentrate Processing// IEEEAccess ,Volume 7, 2019. NewJersey, USA.-P. 23388-23395. DigitalObjectIdentifier 10.1109/ACCESS.2019.2895591.

3 **Ershina, A.K., Karimbai, A.N.** Dvuhrotornii vetroenergeticheskii agregat NVI-Rotor s vertikalnoi osyu vrascheniya [Two-rotor wind power unit HBI-Rotor with vertical axis of rotation]. Vestnik Kazhskogo nacionalnogo jenskogo pedagogicheskogo universiteta. № 4, 2019. - P. 72-79.

4 **Manatbaev, R.K., Tulebergenov, A.K., Satimbekov, A.M., Sherniyazov, K.E. Uzakova, J.I.** Ob odnom stacionarnom 2-D modeli vetroturbini Dare [About one stationary 2-D model of the Darye wind turbine] // Izvestiya NAN RK № 2, 2013, - P. 201-206.

5 **Bolotov, S.A., Bolotov, A.V., Bolotov, N.S.** Vetroenergeticheskii agregat Bolotov [Bolotov Wind Power Unit]. Patent RF № 2352809, 2009.

6 Buktukova, N.S., Buktukova, B.J., Jakip, A.K., Moldabaeva, G.J. Vetroelektrostanciya Buktukova – 5 (Varianti) [Buktukov – 5 Wind Farm (Options)]. Patent RK № 25714, byul. 14, 2012.

7 **Koshumbaev, M.B., Mirzakulov, B.K., Koshumbaev, A.M.** Vihrevoi vetroagregat [Vortex wind turbine]. Patent RK №2291, byul. 14, 2017.

8 Tleuov, A.H. Netradicionnie istochniki energii [Non-traditional energy sources] ucheb. posobie / A.H. Tleuov. – Astana: Izd-vo «Foliant», 2009. - 248 pp.

9 **Dostai, J.D.** Prirodnie vodi Kazahstana: resursi, rejim, kachestvo i prognoz. Vodnie resursi Kazahstana: ochenka, prognoz, upravlenie [Natural waters of Kazakhstan: resources, regime, quality and forecast. Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management]. – Almati 2012. – T.2. – 330 p. (monografiya).

10 **Koshumbaev, M.B., Koshumbaev, A.M., Erjan, A.A., Koshumbaeva, A.M.** Gidroagregat [Hydraulic unit]. Patent RK №2288. Byul. №14 ot 31.07.2017.

**М. Б. Кошумбаев, С. С. Исенов, М. А. Ауельбек,*

Г. С. Нурмаганбетова, Д. М. Утаева

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

ӘЛЕМДЕ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЭНЕРГЕТИКАНЫ ДАМУДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ МЕН НЕГІЗГІ БАҒЫТТАРЫ

Зерттеулердің жаңалығы Қазақстандағы экологиялық жағдайға әсер ететін негізгі трендтерді анықтаудан тұрады. Климаттың өзгеруі, сондай-ақ климаттық жағдайлардың нашарлауы экологиялық жағдайды сыни талдауды және өнеркәсіптік кәсіпорындар мен елді мекендердің көмірқышқыл газының шығарындыларынан туындаған төтенше жағдайларға қарсы іс-қимыл бойынша қажетті шараларды анықтауды көздейді. Ол үшін барлық елдерді төмен көміртекті дамуға, содан кейін көміртексіз экономикаға ауысуға мәжбүр ететін әлемдік трендтер талданды. Мақалада көмірқышқыл газының шығарындыларын азайтуға, жылу көмір станциясының жұмыс режимін жақсартуға, ЖЭК тиімділігін арттыруға арналған жаңа қазақстандық технологиялар берілген. Бұл қазақстандық технологиялар Қазақстанның 2060 жылға дейінгі көміртегі бейтараптығы стратегиясына сәйкес елді декарбонизациялау жоспарына енгізілуі мүмкін. Талдау нәтижелері бойынша парниктік газдардың негізгі өндірушілері анықталды. Трендтердің экономиканың барлық салаларына әсерін көрсету үшін жаңа заңнамалық актілерді қабылдау және қолданыстағы заңдарды өзгерту ұсынылды.

Кілтті сөздер. Жаңартылатын энергия, жел энергетикасы, гидроэнергетика, жел турбинасы, жел, альтернативті энергетика.

*M. Koshumbaev, S. Issenov, M. Auelbek, G. Nurmaganbetova, D. Utaeva
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

PROSPECTS AND MAIN DIRECTIONS OF ENERGY DEVELOPMENT IN THE WORLD AND IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

This scientific article examines the main problems, prospects and direction of energy development in the world and in the Republic of Kazakhstan. Climate change, as well as the deterioration of climatic conditions, provide for a critical analysis of the environmental situation and the identification of necessary measures to counteract emergencies caused by carbon dioxide emissions from industrial enterprises and settlements. The novelty of the research lies in determining the main trends that affect the environmental situation in Kazakhstan. To do this, the global trends that force all countries to switch to low-carbon development with subsequent transformation into a carbon-free economy are analyzed. The article presents new Kazakhstani technologies that are designed to reduce carbon dioxide emissions, improve the operation of thermal coal plants, and increase the efficiency of renewable energy sources. These Kazakh technologies can be included in the country's Decarbonization Plan according to Kazakhstan's Carbon Neutrality Strategy until 2060. According to the results of the analysis, the main producers of greenhouse gases have been identified. To reflect the impact of trends on all sectors of the economy, it is proposed to adopt new legislative acts and transform existing laws.

Keywords. Renewable energy, wind energy, hydropower, wind turbine, wind, alternative energy.

**Б. Е. Мухаммадиев¹, А. Д. Умурзакова², П. Ш. Мади³,
А. М. Сарманова⁴, *Б. Б. Исабекова⁵**

*^{1,2,3,4}Қазақстанның агротехникалық зерттеуші университетінің атымен
С. Сейфуллина, Республика Қазақстан, г. Астана*

⁵НАО Торайғыров Университеті, Республика Қазақстан, г. Павлодар

*e-mail: asbizh@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2517-6603>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7683-5256>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5930-8112>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4130-3673>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье представлен обзор методов диагностики технического состояния асинхронного двигателя (АД) и представляет собой исследование современных технологий измерения электрических параметров и выявляет факторы, оказывающие влияние на перегрузочную способность, а также возможные перспективы применения данных для повышения эффективности электроприводов в различных секторах промышленности и сельском хозяйстве. Исследование направлено на повышение эффективности работы электроприводов в различных отраслях, включая сельское хозяйство, с целью оптимизации процессов и снижения затрат, что, в конечном итоге, должно способствовать устойчивому развитию и улучшению качества жизни, в том числе в сельских районах. Эти методы способствуют повышению надежности работы оборудования, поиску дефектов в работе АД в различной промышленности и сельском хозяйстве, сокращению времени простоя и оптимизации производственных процессов, а также помогают оперативно обнаруживать и предотвращать перегрузки, снижая риск аварий,

получая при этом более точную и надежную оценку перегрузочной способности АД. Дальнейшее исследование и внедрение этих методов могут привести к созданию более эффективных и надежных систем контроля, а также мониторинга промышленного оборудования.

Ключевые слова: диагностика, контроль, неисправность, асинхронный двигатель, измерение, электрические параметры.

Введение

В современной индустрии и энергетике, в том числе в сельском хозяйстве, АД являются неотъемлемой частью любых технологических процессов, и эффективность и надежность работы АД играют ключевую роль в обеспечении их бесперебойной работы, и поэтому исследования, направленные на анализ, диагностику и оптимизацию их работы являются актуальными. АД важны для электропривода сельскохозяйственного оборудования, а перегрузочная способность АД определяет их способность поддерживать работу при повышенных нагрузках, и необходима для оптимизации процессов и снижения затрат в сельском хозяйстве.

В сельском хозяйстве применение современных технологий – методов контроля и диагностики АД – играют важную роль, и исследования в этом направлении повышают эффективность работы электроприводов. В данной статье проведен обзор и анализ современных технологий и методов на основе измерения, диагностики и контроля электрических параметров АД при возникновении в нем различных неисправностей.

Материалы и методы

Измерение перегрузочной способности осуществляется на основе мониторинга токов, напряжений и анализа тепловых характеристик, зависит от момента инерции ротора, который влияет на способность двигателя справляться с изменениями нагрузки. Эти данные позволяют определить, как эффективно АД могут справляться с перегрузками и оптимизировать их работу, проводить анализ перегрузочной способности АД для создания графиков работы во времени, определяющих резервные моменты, оценку теплового режима, сравнение с номинальными характеристиками и прогнозирование износа для повышения производительности и долговечности при повышенных нагрузках.

На рисунке 1 представлена схема основных вопросов измерения электрических параметров.

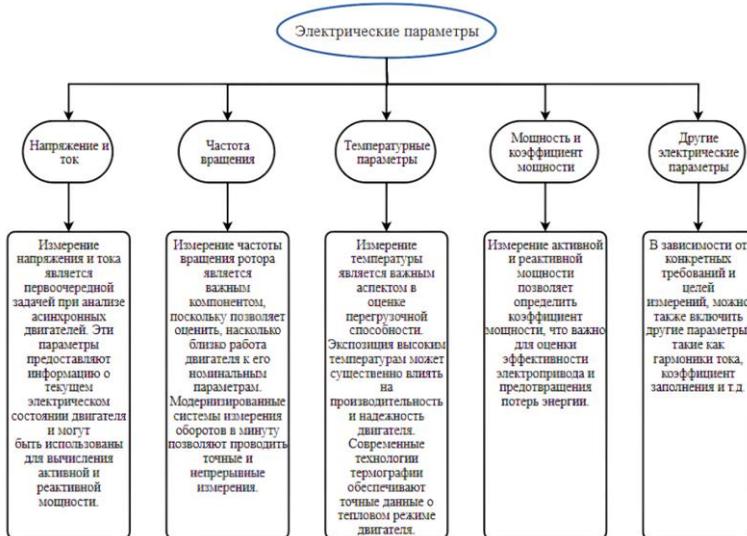


Рисунок 1 – Схема основных вопросов измерения электрических параметров

Исследования показывают, что каждый год из строя выбывает 20–25% от общего числа установленных электродвигателей (ЭД). Существуют современные технологии и методы диагностики, которые предоставляют возможности для эффективного контроля и обслуживания ЭД и способствуют повышению их надежности и срока службы.

Авторами в статье [1, сс. 127–137.] проводится анализ воздействия перегрузочной работы на электромагнитные параметры АД, выявляя изменения в токе и магнитной плотности при различных условиях работы. Результаты исследования представляют данные для оптимизации конструкции АД за счет внедрения средств диагностирования с целью повышения экономической эффективности путем использования метода диагностики обрыва стержня ротора по осциллограммам пускового тока статора при различных состояниях двигателя.

В статье [2, с. 12099.] анализируются методы формирования математических моделей для расчета динамических и тепловых характеристик АД, предлагается новый метод, расширяющий зону сходимости метода Ньютона-Рафсона, что позволяет оптимизировать параметры управления частотой. Результаты вычислений используются для создания графиков основных и оптимальных запусков АД в режиме постоянного потока и способствуют повышению энергетической и производственной эффективности электроприводов.

В статье [3, с. 2056] обсуждаются тепловые процессы внутри ЭД и показано, что классические модели не всегда способны адекватно описать динамически изменяющиеся тепловые процессы в ЭД, особенно при прерывистой работе.

В [4, с. 12171] авторами рассмотрена методика диагностики АД по их электрическим параметрам, и рассмотрены пульсации, которые вызваны самокоммутируемым инвертором и дефектами. Анализ фазовых траекторий тока и напряжения позволяет выявить повреждения, исключив гармонические составляющие, образованные несущей частотой.

Статья [5, с. 45–48.] представляет анализ современных методов диагностики ЭД и рекомендации по выбору оптимальных систем контроля. Основываясь на измерении ключевых параметров, эти системы позволяют проводить обслуживание и ремонт исходя из текущего состояния оборудования, без необходимости его отключения или разборки, что улучшает эффективность обслуживания и экономит время.

В [6, с. 597] представлен метод диагностики неисправностей в обмотке статора высокоскоростных АД с твердым ротором, который работает на основе тока отрицательной последовательности и алгоритма нечеткой нейронной сети и обнаруживает межвитковые замыкания и замыкания на землю. Авторы анализируют электромагнитное поле в роторе, рассчитывая его импеданс и разрабатывая схему замещения. Используя программу MATLAB, они записывают данные для обучения и тестирования этого метода. Результаты моделирования подтверждают быструю и эффективную диагностику указанных неисправностей.

В исследовании [7, с. 6.] предложен метод диагностики АД, сосредоточенный на анализе гармонического состава внешнего магнитного поля и степени дефектности машины, обеспечивающий оперативное

выявление неисправностей и предотвращение возможных аварийных ситуаций в производственных процессах. В результате этого исследования проанализированы процессы изменения формы магнитного поля в электродвигателях и выявлены закономерности появления различных гармоник в его спектре при различных дефектах, и разработаны более точные методы мониторинга и ремонта для обеспечения работоспособности ЭД.

В [8, сс. 4-8.] авторами обсуждаются современные методы диагностики для обнаружения неисправностей в высоковольтных АД, которые позволяют более эффективно выявлять и устранять дефекты, повышающие надежность и качество работы таких машин в различных отраслях промышленности.

Источник [9, сс. 45-87] представляет собой глубокий анализ современных стратегий и методов диагностики, сфокусированных на проблеме обнаружения неисправностей в АД, и сравнительный анализ различных методов контроля технического состояния этих двигателей на этапах их производства, эксплуатации и ремонта. Рассмотрены и сопоставлены методы тестовой и функциональной диагностики АД, при этом особое внимание уделено методам контроля технического состояния в процессе эксплуатации, таким как анализ вибрации, акустических колебаний, магнитного потока, температуры, электрических параметров и состояния изоляции статорной обмотки. В целом, представленный анализ является важным шагом в разработке эффективных стратегий поддержания и обслуживания АД, обеспечивая более надежное и продолжительное их функционирование.

В статье [10] предложен новый метод диагностики технического состояния ЭД переменного тока в процессе эксплуатации без отключения от сети на основе измерения активного и индуктивного сопротивления, обеспечивающий точные измерения и не требующий специализированных стендов. Метод основан на селективном преобразовании сигналов с периодической весовой функцией, позволяющий получать диагностическую информацию о состоянии обмотки и магнитопровода ЭД.

Новый метод диагностики обрыва стержня ротора в АД представлен в статье [11, с. 167.], осуществляемый путем анализа осциллограмм пускового тока статора и конечно-элементной модели для проведения

исследований и анализа осциллограмм. Этот метод позволяет оперативно обнаруживать и устранять неисправности, что способствует повышению надежности и эффективности технических систем.

В исследовании [12, сс. 4-18] проведен анализ современных методов мониторинга и диагностики АД и выявлено, что комплексные системы диагностики позволяют проводить обслуживание оборудования по фактическому состоянию, и способствуют повышению надежности и эффективности технических систем.

В статьях [13; 14] описаны разработанная интеллектуальная диагностическая система для АД, использующая искусственные нейронные сети (ИНС), предложен метод диагностики неисправностей ротора АД, основанный на комбинации модифицированного ансамбля эмпирической декомпозиции режимов и ИНС. Обе статьи демонстрируют эффективность своих методов с использованием программного обеспечения для моделирования и анализа данных.

В статье [15, с. 715] предложен новый метод управления скоростью АД, объединяющий ИНС и метод непрямо́й ориентации ротора по полю. Для оптимизации управления используется алгоритм оптимизации роя частиц, который демонстрирует превосходство перед традиционными методами, представляющий собой значительное развитие в области управления АД, обеспечивая эффективность и точность при использовании современных методов оптимизации и нейронных сетей.

В статье [16, с. 591] представлен новый подход к диагностике неисправностей подшипников, использующий сверточные нейронные сети и непрерывное вейвлет-преобразование, основанный на скалограммах. Этот метод имеет превосходство по точности и вычислительной эффективности перед традиционными методами. И представляет перспективное решение для реальных приложений в диагностике неисправностей подшипников.

Результаты и обсуждение

Обзор представил различные методы оценки перегрузочной способности АД, включая анализ теплового состояния, контроль тока и напряжения, а также применение машинного обучения и ИНС. Современные методы позволяют оперативно выявлять перегрузки и предотвращать аварийные ситуации.

Однако внедрение этих методов требует значительных ресурсов в виде технических знаний и финансовых вложений, а также подготовки персонала. Несмотря на вызовы, они способствуют повышению безопасности и оптимизации производственных процессов, и дальнейшее их исследование может привести к созданию более эффективных систем контроля и мониторинга.

Выводы

Таким образом, из анализа следует, что вопрос в создании инновационных методов, позволяющих обнаруживать дефекты в работе АД в различной промышленности и сельском хозяйстве, связанные с перегрузочной способностью, в том числе в процессе эксплуатации, помогающие оперативно обнаруживать и предотвращать перегрузки, снижая риск аварий, получая при этом более точную и надежную оценку перегрузочной способности АД является актуальным на сегодняшний день. Дальнейшее исследование и внедрение этих методов могут привести к созданию более эффективных и надежных систем контроля, а также мониторинга промышленного оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Сидельников, Л. Г., Афанасьев, Д. О.** Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации [Текст] // Недропользование. – 2013. – №7. – С. 127–137.

2 **Tulyaganov, M.** Optimum control of an asynchronous electric drive [Text]// Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388. – P. 12099.

3 **Nogal, L., Magdziarz, A., Rasolomampionona, D. D., Łukaszewski, P., Sapula, L., Szreder, R.** The Laboratory Analysis of the Thermal Processes Occurring in Low-Voltage Asynchronous Electric Motors [Text]// Energies. – 2021. – Vol. 14. – P. 2056.

4 **Zhukovskiy, Y. L., Korolev, N., Koteleva, N.** Diagnostics of an asynchronous motor powered from a self-commutated voltage inverter [Text]// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560. – P. 12171.

5 **Крупенин, Н. В., Голубев, А. В., Завидей, В. И.** Новые возможности в диагностике электрических машин [Текст]// Электричество. – 2011. – № 9. – С. 45–48.

6 **Zayer, W., Radhi, A.** Faults diagnosis in stator windings of high speed solid rotor induction motors using fuzzy neural network [Text]// International Journal of Power Electronics and Drive Systems. – 2021. – Vol. 12. – P. 597.

7 **Якубова, Д. К., Шерназаров, С. Э.** Диагностика асинхронных электродвигателей на основе анализа параметров внешнего магнитного поля [Текст] // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – 2019. – № 182. – Т. 2 – С. 6.

8 **Хомутов, С. О., Кобозев, Е. В.** Прогнозирование вероятности безотказной работы электродвигателей на основе количественной оценки степени влияния воздействующих факторов [Текст]// Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – 2006. – № 2. – С. 4–8.

9 **Русов, В. А.** Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования [Текст] – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т путей сообщ-я, 2011. – 367 с.

10 **Брякин, И. В.** Методы и средства автоматизированного контроля технологических параметров: монография [Текст]. – Бишкек: КРСУ, 2017. – 198 с.

11 **Купцов, В. В., Горзунов, А. С., Сарваров, А. С.** Разработка методики токовой диагностики асинхронных двигателей по осциллограммам нестационарных режимов работы [Текст]// Вестник ЮУрГУ. – 2009. – №34. – С. 167.

12 **Афанасьев, Д. О., Сидельников, Л. Г., Седунин, А. М.** Методы и проблемы вибродиагностики асинхронных двигателей [Текст]// Пермь: Пермский государственный технический университет ООО «ТестСервис», 2013 – 20 с.

13 **Singh, G. K., Al Kazzaz, S. A. S.** Development of an Intelligent Diagnostic System for Induction Machine Health Monitoring [Text]// IEEE Systems Journal. – 2008. – Vol. 2. – P. 924129.

14 **Yang, Z., Kong, C., Wang, Y., Rong, X., Wei, L.** Fault diagnosis of mine asynchronous motor based on MEEMD energy entropy and ANN [Text]// Computers & Electrical Engineering. – 2021. – Vol. 92. – P. 107070.

15 **Elgohary, M., Gouda, E., Eskander, S.** Intelligent control of induction motor without speed sensor [Text]// International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). – 2021. – Vol. 12. – P. 715.

16 **Boudiaf, R., Bouras, A., Harida, I.** Bearing fault diagnosis in induction motor using continuous wavelet transform and convolutional neural networks [Text]// International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). – 2024. – Vol. 15. – P. 591.

REFERENCES

1 **Sidelnikov, L .G., Afanasev, D. O.** Obzor metodov kontrolya tehniceskogo sostoyaniya asinhronnyh dvigatelej v processe ekspluatcii [Review of methods for monitoring the technical condition of asynchronous motors during operation] [Text]// Nedropolzovanie. – 2013. – №7. – С. 127–137.

2 **Tulyaganov, M.** Optimum control of an asynchronous electric drive [Text]// Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388. – P. 12099.

3 **Nogal, L., Magdziarz, A., Rasolomampionona, D. D., Łukaszewski, P., Sapula, L., Szreder, R.** The Laboratory Analysis of the Thermal Processes Occurring in Low-Voltage Asynchronous Electric Motors [Text]// Energies. – 2021. – Vol. 14. – P. с.

4 **Zhukovskiy, Y. L., Korolev, N., Koteleva, N.** Diagnostics of an asynchronous motor powered from a self-commutated voltage inverter [Text]// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560. – P. 12171.

5 **Krupenin, N. V., Golubev, A. V., Zavidej, V. I.** Novye vozmozhnosti v diagnostike elektricheskikh mashin [New possibilities in diagnostics of electrical machines] [Text]// Elektrichestvo. – 2011. – № 9. – P. 45–48.

6 **Zayer, W., Radhi, A.** Faults diagnosis in stator windings of high speed solid rotor induction motors using fuzzy neural network [Text]// International Journal of Power Electronics and Drive Systems. – 2021. – Vol. 12. – P. 597.

7 **Yakubova, D. K., Shernazarov, S. E.** Diagnostika asinhronnyh elektrodvigatelej na osnove analiza parametrov vneshnego magnitnogo polya [Diagnostics of asynchronous electric motors based on the analysis of external magnetic field parameters] [Text]// Problemy energo- i resursoberezheniya. – 2019. – № 182. – T. 2 – P. 6.

8 **Homutov, S. O., Kobozev, E. V.** Prognostirovanie veroyatnosti bezotkaznoj raboty elektrodvigatelej na osnove kolichestvennoj ocenki stepeni vliyaniya vozdeystvuyushih faktorov [Forecasting the probability of failure-free operation of electric motors on the basis of quantitative assessment of the degree of influence of influencing factors] [Text]// Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. I.I. Polzunova.– 2006. – № 2. – P. 4-8.

9 **Rusov, V. A.** Izmerenie chastichnyh razryadov v izolyacii vysokovoltного oborudovaniya [Measurement of partial discharges in the insulation of high-voltage equipment] [Text] – Ekaterinburg: Ural. gos. un-t putej soobsh-ya, 2011. – 367 p.

10 **Bryakin, I. V.** Metody i sredstva avtomatizirovannogo kontrolya tehnologicheskikh parametrov: monografiya [Methods and means of automated control of technological parameters: monograph] [Text]. – Bishkek: KRSU, 2017. – 198 p.

11 **Kupcov, V. V., Gorzunov, A. S., Sarvarov, A. S.** Razrabotka metodiki tokovoj diagnostiki asinhronnyh dvigatelej po oscillogrammam nestacionarnyh rezhimov raboty [Development of current diagnostics methodology of induction motors by oscillograms of non-stationary operation modes] [Text]// Vestnik YuUrGU. – 2009. – №34. – P. 167.

12 **Afanasev, D. O., Sidelnikov, L. G., Sedunin, A. M.** Metody i problemy vibrodiagnostiki asinhronnyh dvigatelej [Methods and problems of vibrodiagnostics of asynchronous motors] [Text]// Perm: Permskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet OOO «TestServis», 2013 – 20 p.

13 **Singh, G. K., Al Kazzaz, S. A. S.** Development of an Intelligent Diagnostic System for Induction Machine Health Monitoring [Text]// IEEE Systems Journal. – 2008. – Vol. 2. – P. 924129.

14 **Yang, Z., Kong, C., Wang, Y., Rong, X., Wei, L.** Fault diagnosis of mine asynchronous motor based on MEEMD energy entropy and ANN [Text]// Computers & Electrical Engineering. – 2021. – Vol. 92. – P. 107070.

15 **Elgohary, M., Gouda, E., Eskander, S.** Intelligent control of induction motor without speed sensor [Text]// International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). – 2021. – Vol. 12. – P. 715.

16 **Boudiaf, R., Bouras, A., Harida, I.** Bearing fault diagnosis in induction motor using continuous wavelet transform and convolutional neural networks

Б. Е. Мухаммадиев¹, А. Д. Умурзакова², П. Ш. Мади³,

А. М. Сарманова⁴, *Б. Б. Исабекова⁵

^{1,2,3,4}С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

⁵Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНЫҢ ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

Бұл мақалада асинхронды қозғалтқыштардың (АҚ) техникалық жағдайын диагностикалаудың қолданыстағы әдістерін жан-жақты шолу қарастырылған. Зерттеу электрлік параметрлерді өлшеудің заманауи технологияларын қамтиды және осы қозғалтқыштардың шамадан тыс жүктеме қабілетіне әсер ететін факторларды анықтайды. Сонымен қатар, мақалада өнеркәсіп пен ауыл шаруашылығының әртүрлі салаларында электр жетектерінің тиімділігін арттыру үшін алынған мәліметтерді пайдалану мүмкіндігі қарастырылады. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты - процестерді оңтайландыру және шығындарды азайту үшін әртүрлі салаларда, соның ішінде ауыл шаруашылығында электр жетектерінің өнімділігін арттыру. Бұл әсіресе ауылдық жерлерде тұрақты дамуға және өмір сүру сапасын жақсартуға ықпал етеді деп күтілуде. Заманауи диагностикалық әдістерді қолдану сонымен қатар жабдықтың сенімділігін арттыруға, тоқтап қалу уақытын азайтуға және өндірістік процестерді оңтайландыруға көмектеседі. Бұл әдістерді одан әрі зерттеу және енгізу өнеркәсіптік жабдықты басқару мен бақылаудың негұрлым тиімді жүйелерін құруға әкелуі мүмкін, бұл түптеп келгенде өндірістік процестер мен экономикалық тиімділікті айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Қосымша зерттеу энергия

тіімділігін арттыру және қоршаған ортаға теріс әсерді азайту үшін осы әдістердің әлеуетін де көрсете алады.

Кілт сөздер: диагностика қа, басқару, ақаулық, асинхронды қозғалтқыш, өлшеу, электрлік параметрлер.

*B. E. Mukhamediyev¹, A. D. Umurzakova², P. S. Madi³, A. M. Sarmanova⁴, *B. B. Issabekova⁵*

^{1,2,3,4}S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,

Republic of Kazakhstan, Astana

⁵Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

REVIEW OF INDUCTION MOTOR TECHNICAL CONDITION DIAGNOSTICS METHODS

In the presented article a comprehensive review of existing methods of diagnostics of technical condition of asynchronous motors (AM) is carried out. The study carried out covers the current electrical measurement techniques and identifies the factors affecting the overload capability of these motors. This is expected to contribute to sustainable development and improved quality of life, especially in rural areas. The main objective of this research is to improve the efficiency of electric drives in a variety of industries, including agriculture, in order to optimise processes and reduce costs This is expected to contribute to sustainable development and improved quality of life, especially in rural areas. The use of modern diagnostic methods also helps to increase equipment reliability, reduce downtime and optimise production processes. Further research and implementation of these techniques may lead to more efficient control and monitoring systems for industrial equipment, which can ultimately significantly improve manufacturing processes and economic efficiency. Additional study may also highlight the potential of these techniques to improve energy efficiency and reduce negative environmental impacts.

Keywords: diagnostics, control, fault, induction motor, measurement, electrical parameters.

МРНТИ 44.29.31

***Нефтисов А. В.¹, Казамбаев И. М.², Уразаев Д. Б.³,
Жакупова К.М.⁴, Сагадатов Н.Ж.⁵**

Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

*e-mail: shurik-neftisov@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9835-5285>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2349-6465>

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОТОТИП МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТКРЫТЫМИ СТАНДАРТАМИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Координация работы релейных защит является важным аспектом при возникновении серьезных неисправностей и должна обеспечивать быстрое выключение. Одним из решений является использование интернета вещей. Объектом данного исследования является архитектура системы релейной защиты, в которой используется только локальный интернет, а в открытом доступе – глобальный. Целью исследования является оценка эффективности использования интернета в релейной защите, а также актуальности её архитектуры. Эта архитектура передачи, сбора, анализа данных релейной защиты, конкретных протоколов своевременного подключения и безопасности данных является

справедливой процессуальной единицей. Качество релейной защиты обеспечивает хорошо организованная структура для точного и эффективного сбора, передачи и анализа данных. Для исследовательских целей были проведены эксперименты, чтобы подтвердить возможность гипотезы. Эксперимент был проведен для нескольких устройств, чтобы определить наиболее эффективные из предложенных. Полученный результат представлен в виде таблицы и содержит значения как для беспрепятственных условий, так и для препятствий в виде стен. Выбран протокол данных ESP-now, который является открытым. Условия также предназначены для определения основных параметров радиоволн, в первую очередь скорости передачи в общее время работы релейной защиты, а также количества пакетов на тысячу с разной памятью. Было обнаружено, что наличие стены в качестве барьера приводит к потере мешков. При выполнении одного из условий исследования интернет вещей может использоваться в релейной защите.

Ключевые слова: релейная защита, скорость срабатывания, магнитный датчик, магнитное поле, открытые стандарты, промышленный интернет вещей, эксперимент.

Введение

Архитектура системы релейной защиты играет важную роль в том, как система реагирует в стандартных и аварийных ситуациях. В настоящее время системы релейной защиты общего назначения действуют как самоцентричные узлы, которые считывают только локальные данные и связываются с соседними узлами релейной защиты по кабелям. Следовательно, один узел включает в себя множество функций, что в свою очередь увеличивает сложность системы. При этом защита обеспечивается сложной системой таймеров, которая каскадом сбрасывается с поврежденного узла. Причем, чем дальше от узла, тем больше времени требуется для выключения. По данной причине существует несколько сложностей:

- таймеры должны быть откалиброваны при монтаже и требуют короткого временного интервала, что затрудняет процесс;

- узлы с большими параметрами таймера проводят больше времени в состоянии короткого замыкания в аварийной ситуации. Это приводит к увеличению вероятности повреждения электросети с течением времени;

- невозможно точно выявить проблемы электросети без изучения путей разветвления;

- необходимо вручную собирать данные для проверки состояния тех или иных узлов релейной защиты.

Современные требования к энергетическим системам, в том числе интеграция альтернативных и возобновляемых источников энергии, сложность сетевых структур, повышение эффективности и снижение эксплуатационных расходов требуют совершенствования классических систем релейной защиты. [1] Одним из направлений исследований является замена металлоемкого трансформатора тока (ТТ) на элемент альтернативного размера. В работе [2] в качестве измерительного прибора показана релейная защита двухцепных сетей 6-35 кВ на основе герконов. Система защиты состоит из двадцати четырех герконов и основана на контроле их времени работы и последовательности. Одним из недостатков герконов является наличие дребезга, требующего компенсации за надежную работу такого устройства. Альтернативным решением является использование катушки Роговского вместо трансформатора тока [3]. В статье предложена система датчиков внешней электросети, в которой для измерения тока [4] используется катушка Роговского со сумматором и емкостной делитель для измерения напряжения. Тем не менее, авторы статьи отметили, что текущий шум системы, основанной на катушках Роговского, выше, чем у традиционных ТТ из-за широкого диапазона.

Еще одним направлением модернизации релейной защиты является внедрение трендовых технологий. [5] В работе показаны преимущества внедрения интернета вещей (IoT) в электроэнергетику и энергосистемы (EPES), включая улучшение управления энергопотреблением, сокращение отходов и повышение эффективности и надежности системы. Тем не менее, в документе признаются трудности развертывания IoT в EPES. В другом исследовании [6] выделяется несколько причин для использования технологии IoT. Он позволяет в режиме реального времени контролировать электрические параметры в микросетях, обеспечивает быстрое обнаружение неисправностей и автоматическое реагирование. [7] Недавно

была внедрена система управления питанием на основе IoT для решения проблем с технологией интеллектуальных сетей, включая регулирование тока и напряжения, обнаружение неисправностей и уведомления потребителей в микросетях. Основное внимание уделяется передовым технологиям для Интернета вещей и эффективному управлению данными для повышения надежности и эффективности электросети за счет непрерывного мониторинга тока и напряжения в разрывах малых сетей для быстрого обнаружения и устранения проблем. Одним из важнейших показателей при использовании облачных технологий и IoT в релейной защите является скорость и производительность. В исследовании [8] показана значительная разница в производительности, которая наблюдается в эффективном облачном хранилище для промежуточных файлов по сравнению с локальной памятью. Этот разрыв приводит к удивительному падению производительности на 400%, когда промежуточные данные управляются в облачной среде, а не хранятся локально. Чтобы эмпирически оценить влияние конфигураций IoT на производительность рабочего процесса, авторы использовали в качестве бенчмарка рабочий процесс Installation. Следует отметить, что некоторые решения, в том числе промышленные, используют IoT только как инструмент для аналитики и мониторинга, но не для принятия решений в рамках системы релейной защиты.

Разработка систем релейной защиты на основе открытой архитектуры также может стать новым перспективным направлением в промышленности. В статье [9] изложена практика внедрения принципов открытой архитектуры в телекоммуникационном секторе, основные принципы открытой архитектуры и спецификации парадигмы Open Radio Access Network (RAN). В работе [10] уже представлена структурная модель микропроцессорной системы релейной защиты, основанная на использовании открытой архитектуры. Использование открытых стандартов в системах защиты энергосистем позволяет подключать, обновлять или модифицировать компоненты системы с использованием оборудования разных производителей, упрощая интеграцию и обмен данными, что в свою очередь оптимизирует и снижает затраты.

Предлагаемое исследование является продолжением [11;12] и представляет собой разработку междисциплинарной архитектуры

координированной работы систем релейной защиты на базе IoT и микропроцессора с открытыми стандартами.

Материалы и методы

В nRF24L01 и других радиомодулях Nordic Semitransmittor используется модуляция GFSK, что означает ключевую модуляцию переключателя частоты по Гауссу. Он представляет 0 и 1 в двоичном массиве как часть нижней (0) и высокой (1) частоты волны с сохранением той же амплитуды. Аналогичный метод использует Bluetooth-радио.

1) Модуляция сигнала: способ распределения сигнала можно охарактеризовать косинусной линией, ее основной функцией:

$$s(t) = A \cos(\omega_{IF} t + \varphi(t)) \quad (6)$$

Амплитуда здесь (A) стабильна, а фаза (φ) является единственной переменной, которая также определяется по [9]:

$$\varphi(t) = h\pi \int_{-\infty}^t \sum_i a_i \gamma(\tau - iT) d\tau \quad (7)$$

В двоичной строке, которую нам нужно отправить, данные помечаются '1' как двоичная 1 и '-1' как двоичная 0, сопоставленная с массивом. Здесь h — индекс модуляции, обычно равный 0,5 и представляющий импульс частоты $\gamma(y)$. Соответственно, формула создает волну прямоугольной формы, которую можно прикрепить к ней с помощью фильтра Гаусса [9]:

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi B} \quad (9)$$

Демодуляция сигнала: Демодуляция сигнала GFSK обычно выполняется косвенно, и существует несколько методов, которые могут быть использованы для демодуляции GFSK [10]: Дискриминатор Фостера-Сили (преобразование FM-AM), фазовый детектор, обнаружение нулевого пересечения, частотная обратная связь.

Одним из наиболее распространенных методов демодуляции сигнала GFSK является применение преобразования задержки и умножения на отфильтрованный несущий сигнал с нулевой частотой [9]. Результирующее уравнение сигнала выглядит следующим образом:

$$s(t) = A \cos((\omega_{IF} + \omega_d)t) \quad (10)$$

В этом уравнении ω_d -мгновенное смещение, если оно изначально было $\omega_d < 0$, то цифровое значение будет '0', а если $\omega_d > 0$, цифровое значение будет '1'. Удаление (вмешательство) ω_{IF} с немодулированным синусом и косинусом дает фазовые и квадратурные компоненты:

$$i_m(t) = s(t) \cos(\omega_{IF}t) = \frac{A}{2} (\cos((2\omega_{IF} + \omega_d)t) + \cos(\omega_d t)); \quad (11)$$

$$q_m(t) = -s(t) \sin(\omega_{IF}t) = \frac{A}{2} (\sin(\omega_d t) - \sin((2\omega_{IF} + \omega_d)t)); \quad (12)$$

Две формулы содержат два требуемых сигнала: частота вокруг центра 0 и центр $2\omega_{IF}$. Низкочастотная фильтрация $2\omega_{IF}$, удаляет единственный оставшийся сигнал:

$$i_m(t) = \frac{A}{2} \cos(\omega_d t), \quad (13)$$

$$q_m(t) = \frac{A}{2} \sin(\omega_d t). \quad (14)$$

Используя классический метод задержки и воспроизведения FM-демодуляции, сигнал можно описать следующим образом:

$$d_i = q_i(t)i_l(t - \Delta T) - i_l(t)q_i(t - \Delta T) = \frac{A^2}{4} \sin(\omega_d \Delta T). \quad (15)$$

Зная время, необходимое для получения одного бита информации, выбирая сигнал через определенные промежутки времени, мы получаем необходимый массив разрядов, соответствующий нашей информации.

Результаты и обсуждение

На схеме предлагаемой архитектуры системы, которая показана на рисунке 1, представлены три основных слоя системы. Они включают в себя локальный уровень передачи, уровень фильтрации и анализа данных, а также уровень базы данных. Каждый из них более подробно описан далее.

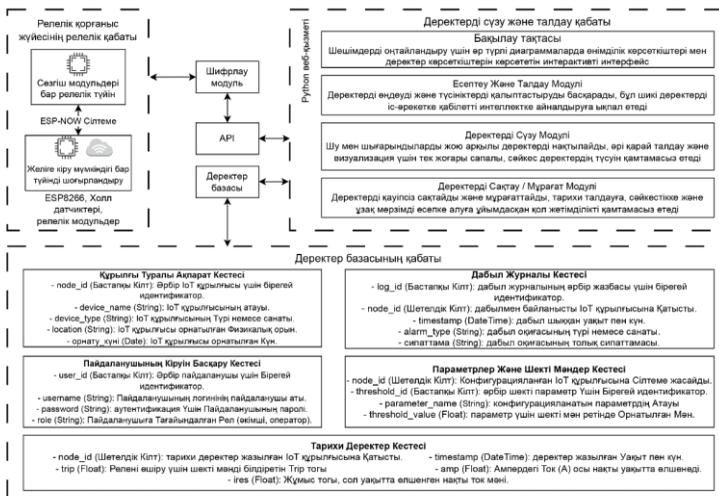


Рисунок 1 – Концептуальная модель системы релейной защиты

Локальный уровень передачи данных реагирует на локальные действия системы, а также на действия, которые должны быть выполнены, если наборы данных и/или значения не соответствуют нормальной работе

сети. Этот слой имеет звездообразную топологию, сосредоточенную вокруг релейного концентратора. Единственное устройство, которое имеет доступ к сети и, соответственно, к другим слоям — это концентраторный узел, который случайным образом выступает в роли шлюза для узлов передачи данных. Данные с датчиков в коридоре или аналогичного сенсорного оборудования поступают на удаленные релейные узлы и доставляются на консолидирующее устройство через ESP-NOW или протокол беспроводной связи с низкой задержкой. В случае, если соединение ESP-NOW неактивно из-за потери повторяющихся пакетов или оттока шлюза, узлы передачи данных программируются на принятие локального решения без необходимости вмешательства остальной части системы.

Таблица 1. Тест обратной связи ESP-NOW

Тесты	Количество пакетов	Среднее время	Дисперсия	stAut
Тест 1	1000	2.37	2.94	1.71
Тест 2	1000	2.26	2.86	1.69
Тест 3	1000	2.24	4.85	2.20
Тест 4	1000	2.20	1.54	1.24
Тест 5	1000	2.31	5.71	2.39
Тест 6	1000	2.45	4.27	2.07
Тест 7	1000	2.16	1.20	1.10
Тест 8	1000	2.21	3.91	1.98
Тест 9	1000	2.18	2.46	1.57
Тест 10	1000	2.23	2.30	1.52
Среднее:	1000	2.261	3.204	1.747

Таблица 2. ESP-NOW тест обратной связи через стену

Тесты	Количество пакетов	Среднее время	Дисперсия	stAut
Тест 1	349	2.02	0.44	0.67
Тест 2	470	2.06	0.73	0.85
Тест 3	142	2.01	0.44	0.66
Тест 4	1000	2.24	4.12	2.03
Тест 5	1000	2.20	3.69	1.92

Тест 6	927	2.30	3.53	1.88
Тест 7	476	2.32	2.50	1.58
Тест 8	443	2.35	2.39	1.55
Тест 9	291	2.14	5.07	2.25
Тест 10	341	2.09	1.55	1.24
Среднее:	543.9	2.173	2.446	1.463

Время обратного цикла для инициатора-получателя-инициатора подтверждает, что оно составляет менее 2,5 мс и независимо от количества пакетов, полученных во время эксперимента. Было замечено, что максимальное время, затрачиваемое на ожидание пакета, составляет около 20 мс, что соответствует спецификации ESP-NOW, при условии, что повторная отправка пакета может достигать 20 мс, если последуют сбои. Однако, согласно данным об отклонениях, такие случаи встречаются редко. Во-первых, предполагалось, что стена снизит силу восприятия модулей. Данные частично подтвердили эту гипотезу, хотя в некоторых циклах объем полученного пакета составлял 1000.

Как показано на рисунке 1, схема базы данных, предоставляемая MongoDB для релейной защиты, включает информацию об устройстве, журналы аварийных сигналов, контроль доступа пользователей, настройки и пороговые значения, а также таблицы для исторических данных. Эти таблицы взаимосвязаны для управления данными устройств и используются для обработки и обеспечения целостности данных в режиме реального времени в целях обеспечения эффективности релейной защиты.

Х.Наваз, Д.Жюве, Р.Ф. Да Силва и Э. Дилман [7] сосредоточились на оценке производительности рабочего процесса с интенсивным вводом/выводом, выполняемого на двух выдающихся коммерческих облачных платформах, а именно Google Cloud и Amazon Web Services. В частности, исследование показывает существенную разницу в производительности облачных хранилищ, которая благоприятна для промежуточных файлов по сравнению с локальной памятью. Этот разрыв приводит к удивительному падению производительности на 400%, когда промежуточные данные управляются в облачной среде, а не хранятся локально. Чтобы эмпирически оценить влияние конфигураций IoT на производительность рабочего процесса, авторы использовали в качестве

бенчмарка рабочий процесс Installation. Результаты эксперимента показывают явные различия в производительности между Amazon и Google, причем Amazon превосходит Google по численности до 44%. Среднее время миграции для конфигурации облачного хранилища Google составляет 56,3 секунды, а Amazon — 31,2 секунды. Анализ также показывает ключевую роль операций переноса данных и шаблон быстрого доступа, присущий рабочему процессу установки. Важным результатом исследования является рекомендация по выбору хранения локальных данных в сочетании с использованием механизмов параллельной миграции. Такой подход значительно повышает эффективность научного процесса. Если данные рабочего процесса хранятся локально, важно учитывать, что производительность основного диска, непосредственно подключенного к виртуальной машине, оказывает значительное влияние на продолжительность рабочего процесса. Использование этой стратегии эффективно скрывает накладные расходы, что приводит к значительному повышению производительности выполнения рабочего процесса.

Как правило, решения о состоянии реле принимаются локально между узлами ретрансляции, а облачные данные используются для анализа данных и прогнозируемого обслуживания.

Информация о финансировании

Работа написана в рамках государственного заказа на реализацию научной программы по бюджетной программе 217 «Развитие науки» Республики Казахстан, подпрограммы 101 «Программно-целевое финансирование научной и/или научно-технической деятельности за счет бюджетных средств» AP13067967 «Разработка технологии создания устройств релейной защиты, экономящих микропроцессорные ресурсы на основе открытой архитектуры»

Выводы

В этом исследовании была представлена модель открытой архитектуры, которая была улучшена с помощью компонентов IoT. Облачные вычисления играют важную роль в анализе, удаленном мониторинге, масштабировании и обеспечении безопасности данных в режиме реального времени, в то время как кластеры на базе независимого компьютера в облачной инфраструктуре обеспечивают потенциальную экономию. Устойчивость к ошибкам обеспечивается за счет параллельной

обработки и копирования данных в облаке. Собранные данные доступны для дальнейшего анализа. Интеграция Интернета вещей в предлагаемую архитектуру оптимизирует релейную защиту, сбор данных, анализ, связь в режиме реального времени и безопасную миграцию данных. Использование микроконтроллера ESP8266 с протоколом ESP-NOW или серии STM32 с приемниками nRF24L01 гарантирует обмен данными с низкой задержкой, а AWS является наиболее эффективным облачным сервисом благодаря своим универсальным виртуальным машинам и мощным инструментам анализа данных, которые вместе повышают производительность системы релейной защиты. Он обещает высокую надежность и операционную эффективность в промышленных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДАННЫХ

1 **Ustinov, D., Aysar, A.** Analysis of the Impact of the Distributed Generation Facilities on Protection Systems and Voltage Mode: Review // Occupational Safety in Industry. 2023. P. 15-20.

2 **Kletsel, M.Ya., Mashrapov, B.E., Mashrapova, R.M.** Reed switch protection of double-circuit lines without current and voltage transformers // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2023. T. 154. 109457. ISSN 0142-0615.

3 **Broderick, S., Pestell, C., Kumar, N., Payne, J.** Design and Use of Protection-Class Rogowski Coils for Medium-Voltage Switchgear // 2023 IEEE IAS Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC). New Orleans, LA, USA, 2023. C. 67-76.

4 **Piesciorovsky, E.C., Warmack, R.J.B., Polsky, Y.** Medium-Voltage Testbed for Comparing Advanced Power Line Sensors vs. Measurement Transformers with Electrical Grid Events // Energies. 2023. T. 16. № 13. 4944.

5 **Bedi, G., Venayagamoorthy, G.K., Singh, R., Brooks, R.R., Wang, K.-C.** Review of Internet of Things (IoT) in electric power and energy systems // IEEE Internet of Things Journal. 2018. T. 5. № 2. C. 847-870.

6 **Sujeeth, S., Swathika, O.G.** IoT based automated protection and control of DC microgrids // 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). 2018. C. 1422-1426.

7 **Pattanaik, B., Taye, A., Umer, A.A., Henok, G.** IoT based over current protection control system using for micro grids // 2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). 2021. С. 235-239.

8 **Nawaz, H., Juve, G., Da Silva, R.F., Deelman, E.** Performance analysis of I/O-intensive workflow executing on Google cloud and Amazon Web Services // 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW). 2016. С. 535-544.

9 **Neftissov, A., Sarinova, A., Kazambayev, I., Kirichenko, L., Kuchanskyi, O., Faizullin, A.** Determination of the speed of a microprocessor relay protection device of open architecture with a reed switch and the industrial internet of things // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. Т. 2. № 9 (122). С. 20-30. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276588>.

10 **Polese, M., Bonati, L., D'Oro, S., Basagni, S., Melodia, T.** Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2023. Т. 25. № 2. С. 1376-1411.

11 **Neftissov, A., Kazambayev, I., Kirichenko, L., Zhakupova, K., Urazayev, D.** An Interaction Model of Relay Protection Measuring Transducers with Computing Systems via IIoT Technology // Bulletin of Toraighyrov University. Energetics series. 2023. С. 279-291.

**Нефтисов А. В.¹, Казамбаев И. М.², Уразаев Д. Б.³, Жакупова К.М.⁴, Сагадатова Н.Ж.⁵*

Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

1ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

2ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

3ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

4ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9835-5285>

5ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2349-6465>

*e-mail: shurik-neftisov@mail.ru

АШЫҚ ИНТЕРНЕТ СТАНДАРТТАРЫ БАР МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ РЕЛЕЛІК САҚТАНДЫРҒЫШТЫҢ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ ПРОТОТИПІ

Релелік қорғаныстарды үйлестіру Елеулі ақаулар туындаған кезде маңызды аспект болып табылады және тез өшіруді қамтамасыз етуі керек. Шешімдердің бірі-заттар интернетін пайдалану. Бұл зерттеудің объектісі-тек әсергілікті интернетті пайдаланатын релелік қорғаныс жүйесінің архитектурасы, ал жалпыға қол жетімді-Ғаламдық. Зерттеудің мақсаты-релелік қорғаныста интернетті пайдалану тиімділігін, сондай-ақ оның архитектурасының өзектілігін бағалау. Бұл релелік қорғаныс деректерін беру, жинау, талдау архитектурасы, нақты уақытылы қосылу хаттамалары және деректер қауіпсіздігі Әділ процесс бірлігі болып табылады. Релелік қорғаныс сапасы деректерді дәл және тиімді жинау, беру және талдау үшін жақсы ұйымдастырылған құрылымды қамтамасыз етеді. Зерттеу мақсатында гипотеза мүмкіндігін растау үшін эксперименттер жүргізілді. Ұсынылған ең тиімдісін анықтау үшін Эксперимент бірнеше құрылғылар үшін жүргізілді. Алынған нәтиже кесте түрінде ұсынылған және кедергісіз жағдайлар үшін де, қабырғалар түріндегі кедергілер үшін де мәндерді қамтиды. ESP-now деректер протоколы таңдалды, ол ашық. Шарттар сонымен қатар радиотолқындардың негізгі параметрлерін, ең алдымен Релелік қорғаныстың жалпы жұмыс уақытындағы берілу жылдамдығын, сондай-ақ әр түрлі жады бар мың пакеттің санын анықтауға арналған. Тосқауыл ретінде қабырғаның болуы сөмкелердің жоғалуына әкелетіні анықталды. Зерттеу шарттарының бірін орындау кезінде мен заттардың интернетін релелік қорғаныстардың қосымшаларында қолдана алуға болады.

Кілтті сөздер: релелік қорғаныс, іске қосу жылдамдығы, магниттік сенсор, магнит өрісі, ашық стандарттар, өнеркәсіптік заттары интернет, эксперимент

*Neftissov A. V.¹, Kazambayev I. M.², Urazayev D. B.³, Zhakupova K.M.⁴, Sagadatova N.Zh.⁵

Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana c.

1ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

2ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

3ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

4ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9835-5285>

5ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2349-6465>

*e-mail: shurik-neftissov@mail.ru

The coordination of relay protection is an important aspect in the event of serious malfunctions and should ensure a quick shutdown. One solution is to use the Internet of Things. The object of this study is the architecture of a relay protection system, which uses only the local Internet, and the global one in open access. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of using the Internet in relay protection, as well as the relevance of its architecture. This architecture of transmission, collection, analysis of relay protection data, specific protocols for timely connection and data security is a fair procedural unit. The quality of relay protection is ensured by a well-organized structure for accurate and efficient data collection, transmission and analysis. For research purposes, experiments were conducted to confirm the possibility of the hypothesis. An experiment was conducted for several devices to determine the most effective of the proposed ones. The result is presented in the form of a table and contains values for both unobstructed conditions and obstacles in the form of walls. The ESP-now data protocol is selected, which is open. The conditions are also designed to determine the main parameters of radio waves, primarily the transmission rate during the total operation time of the relay protection, as well as the number of packets per thousand with different memory. It was found that having a wall as a barrier leads to the loss of bags. If one of the research conditions

was met, Internet of things in relay protection applications can be possible.

Keywords: relay protection, speed, magnetic sensor, magnetic field, open standards, industrial Internet of Things, experiment

МРНТИ 44.29.31

***А.Н. Новожилов¹, Д.К. Имангазинова²,
Т.А. Новожилов³, Ж.С. Исенов⁴**

^{1,2,4}Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар ³Омский
Государственный Технический Университет,
Российская Федерация, г. Омск

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-1781>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

*e-mail: dinaraigul@mail.ru

СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ СЕКЦИИ СО «СКРЫТЫМ» ПОВРЕЖДЕНИЕМ В ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Трехфазные электрические машины переменного тока имеют одинаковое исполнение статора и фазного ротора. Для их защиты от коротких замыканий иногда используются защиты на кольцевом измерительном преобразователе, обладающие высокой чувствительностью к витковым замыканиям. Их отключение от сети электрической машины высокочувствительной защитой иногда приводит к тому, что в обмотках статора или фазного ротора образуется секция со «скрытым» повреждением. Надежное без травмирования изоляции остальной части обмотки выявление места расположения секции со «скрытым» повреждением дает возможность осуществить временный ремонт электрической машины, а, следовательно, многократно сократить время и стоимость ее ремонта.

Для выявления секции со «скрытым» повреждением в трехфазных обмотках электрических машин, оснащенных кольцевым измерительным преобразователем можно воспользоваться способом, в котором из электрической машины вынимают ротор, электромагнитный индуктор устанавливают

поочередно на все соседние зубцы ее магнитопровода статора или фазного ротора. При этом наличие замкнувшихся витков в диагностируемой секции определяют по появлению ЭДС в кольцевом измерительном преобразователе.

Предлагаемый способ выявления секции со «скрытым» повреждением в трехфазных обмотках электрических машин позволяет повысить надежность диагностирования, сократить число используемого для диагностики оборудования и упростить процесс диагностики.

Ключевые слова: Электрические машины, трёхфазные обмотки, витковые замыкания, «скрытые» повреждения, поиск поврежденной секции, кольцевой измерительный преобразователь, магнитный индуктор.

Введение

Отличительной особенностью трехфазных синхронных генераторов, двигателей и компенсаторов, а также асинхронных генераторов и двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором является одинаковое исполнение обмоток статора [1, с 69] [2;3]. В соответствии с [4] обмотка статора является одним из самых ненадежных элементов конструкции этих электрических машин. При этом одним из основных видов ее повреждения является витковое замыкание. Так в высоковольтных электрических машинах с секционированной обмоткой статора на витковое замыкание приходится порядка 22% от всех замыканий в обмотке статора [5;6].

Как известно из практики эксплуатации электрических машин одной из основных причин возникновения короткого замыкания в секционированной обмотке статора является нарушение целостности витковой изоляции между лежащими рядом витками. При этом в точке соприкосновения витков [4;5] возникает электрическая дуга и начинается плавление замкнувшихся проводников, а затем и проводников лежащих рядом с ними. Секционная изоляция более массивна, чем витковая. Поэтому первоначально увеличение размеров повреждения происходит в пределах одной секции. И если защита электрической машины обладает достаточно высокой чувствительностью к витковым замыканиям [7], то размеры повреждения не выходят за ее пределы. При этом достаточно

часто образуется секция со «скрытым» повреждением, обнаружить которое визуальным способом не удастся.

Поиск такой секции является актуальной проблемой. Эта актуальность заключается в том, что в соответствии с [8] при витковом замыкании даже в одной секции завод – изготовитель рекомендует заменить в электрической машине сердечник статора с обмоткой. Однако такой ремонт очень дорог и требует значительного времени. Этого в значительной мере можно избежать, если осуществить временный ремонт в виде исключения поврежденной секции из схемы. При этом поврежденная секция разрезается в головке ее лобовой части. Такой ремонт сопровождается возникновением некоторой несимметрии машины. Однако это мало сказывается на ее работе, особенно у нее на одну фазу тихоходных машин приходится большое число секций. Как показала практика эксплуатации асинхронных машин с вырезанной секции, такие машины после удаления их схемы обмотки статора одной секции способны проработать еще несколько лет.

Материалы и методы

Определение места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотках статора и фазного ротора возникшей в результате ВЗ может осуществляться по-разному [9].

Однако, если диагностируемая электрическая машина оснащена кольцевым измерительным преобразователем (КИП), то в этом случае для поиска места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотках проще всего воспользоваться способом диагностики состояния обмотки статора электрической машины предложенном в [10].

Этот способ определения места расположения секции со «скрытым» повреждением в трехфазной обмотке статора электрической машины, оборудованной КИП с использованием магнитного индуктора, заключается в следующем. Для выявления места расположения в обмотках статора секции со «скрытым» повреждением электромагнитный индуктор, устанавливают поочередно на все соседние зубцы его магнитопровода. При каждой такой установке с помощью этого электромагнитного индуктора создают магнитный поток, который проходит по соседним зубцам сердечника статора и пересекает плоскость диагностируемой секции. И если в этой секции имеются замкнутые витки, то под воздействием

этого магнитного потока в них наводится ЭДС и возникает ток. Этот ток создает магнитное поле замкнутых витков, которое в зоне лобовых частей будет индуцировать в КИП ЭДС. Таким образом, наличие ЭДС в КИП говорит о наличии замкнутых витков в диагностируемой секции, а место расположения электромагнитного индуктора на магнитопроводе статора указывает на место расположения поврежденной секции.

Устройство, реализующее этот способ определения места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотках статора электрической машины показано на рисунке 1.

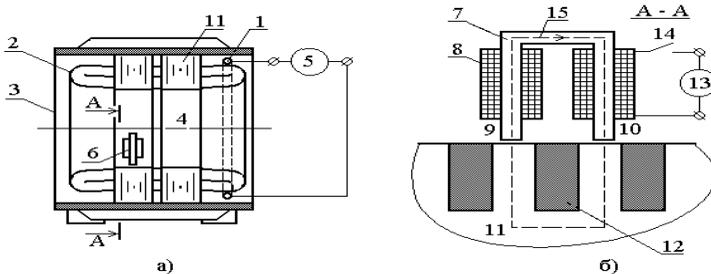


Рисунок 1 – Схемы устройства для реализации способа определения места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотке статора

Одним из основных элементов этого устройства является КИП 1, который в процессе эксплуатации электрической машины используется в качестве измерительного преобразователя защиты от витковых замыканий. При изготовлении электрической машины КИП 1 прикрепляется к лобовым частям 2 обмотки статора или корпусу 3 машины так, как показано на рисунке 1, а. При этом его плоскость должна быть перпендикулярна оси 4 вращения ротора, а его геометрический центр находился на этой оси. То есть такой КИП, по сути, является элементом конструкции этой электрической машины. При диагностике обмотки статора к выводам КИП присоединяется измерительный прибор 5 в виде вольтметра или осциллографа.

Электромагнитный индуктор 6 используется для формирования магнитного поля в определенных частях магнитопровода. Его конструкция

показана на рисунке 1, б. Из этого рисунка видно, что основными элементами магнитного индуктора является П – образный магнитопровод 7 и обмотка 8. При диагностике ножки 9 и 10 его магнитопровода устанавливаются поочередно на все соседние зубцы магнитопровода 11 статора. Таким образом, диагностируемая секция 12 обмотки статора оказывается расположенной между этими зубцами. Подключение обмотки 8 электромагнитного индуктора 6 к источнику питания 13 осуществляется с помощью выключателя 14. Таким образом, если контакты выключатель 14 замкнуты, то через плоскость диагностируемой секции будет проходить магнитный поток 15.

Определение места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотках статора электрической машины осуществляется следующим образом. Электромагнитный индуктор 6 устанавливаются поочередно на все соседние зубцы магнитопровода 11 статора так, как это показано на рисунке 1, б. Если в диагностируемой секции 14 обмотки статора имеются замкнувшиеся витки, то в этом случае пересечение плоскости этих витков магнитным потоком 15 вызовет появление в них ЭДС и соответственно тока. Протекание тока по замкнувшимся виткам сформирует их магнитное поле. При этом магнитное поле лобового рассеяния этих витков будет пересекать плоскость КИП и индуцировать в его обмотке ЭДС. Наличие ЭДС в КИП контролируется вольтметром 5. Таким образом, если ЭДС на выходе КИП не равна нулю, то диагностируемая секция имеет замкнувшиеся витки.

Использование установленного в электрической машине КИП и электромагнитного индуктора позволяет также определять место расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотке фазного ротора в этом случае способ диагностики заключается в следующем.

В соответствии с рисунком 2 для выявления секции со «скрытым» повреждением в трехфазной обмотке фазного ротора асинхронного двигателя его частично разбирают. При этом фазный ротор 1 частично выдвигают из статора 2 в сторону расположения КИП 3. При этом его относительно статора размещают так, чтобы его лобовая часть 4 совпала с плоскостью кольцевого измерительного преобразователя 3. В этом положении он закрепляется с помощью специальной стойки 5.

Для поиска секции со «скрытым» повреждением обмотки фазного ротора 1, также как при диагностировании обмотки статора, используются КИП 3 и магнитный индуктор 6. Выводы КИП подключаются к вольтметру 7.

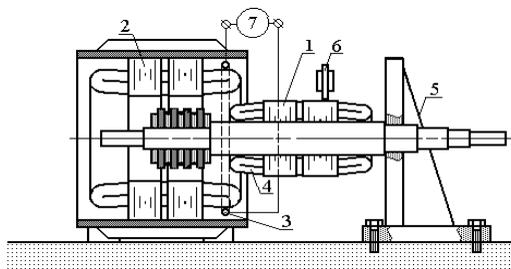


Рисунок 2 – Схемы устройства для реализации способа определения места расположения секции со «скрытым» повреждением в обмотке фазного ротора

Установка электромагнитного индуктора 6 на зубцы фазного ротора 1 в процессе диагностирования аналогична тому, как это осуществляется на рисунке 1, б. При диагностике ножки его магнитопровода также устанавливаются поочередно на все соседние зубцы магнитопровода фазного ротора 1. Таким образом, диагностируемая секция обмотки фазного ротора всегда оказывается расположенной между этими зубцами, а ее плоскость будет пересекать магнитный поток.

Если диагностируемая секция обмотки фазного ротора не повреждена, то в ней замкнувшиеся витки отсутствуют. В этом случае пересечение плоскости этой секции магнитным потоком, созданным электромагнитным индуктором 6, ток в ее витках не вызовет. В связи с этим магнитное поле лобового рассеяния этой секции фазного ротора будет отсутствовать. Поэтому электродвижущая сила КИП 3 и напряжение на его выводах будут равны нулю. Таким образом, если ЭДС КИП 1, наличие которой контролируется вольтметром 7, равна нулю, то замкнувшиеся витки в диагностируемой секции отсутствуют.

Если диагностируемая секция обмотки фазного ротора 1 повреждена, то часть ее витков будет замкнута. В этом случае пересечение плоскости

этой секции магнитным потоком, вызванным электромагнитным индуктором 6, вызовет появление тока в замкнутых витках, их магнитного поля лобового рассеяния и электродвижущей силы КИП 3. В связи с этим ЭДС КИП 3 будет не равна нулю.

Таким образом, ЭДС в кольцевом измерительном преобразователе 3 появляется только в случае наличия в диагностируемой секции обмотки фазного ротора 1 замкнутых витков. Поэтому появление напряжения на выводах КИП 3 контролируемое вольтметром 7 указывает на то, что эта секция повреждена. То есть в ней присутствуют замкнутые витки.

Результаты и обсуждение

Проверка эффективности данного способа поиска поврежденной секции осуществлялась на Сургутской ГРЭС-1. В качестве экспериментального использовался двигатель привода дымососа мощностью 1250 кВт выведенного в ремонт после отключения его релейной защитой при коротком замыкании в его обмотке статора. После демонтажа двигатель подвергся полной разборке. Поврежденные секции в его обмотке статора были определены по видимым повреждениям их изоляции. Для проверки данного способа на поврежденном двигателе был смонтирован одновитковый КИП с трансформатором тока 400,5 [11]. В качестве электромагнитного индуктора использовалось устройство, внешний вид которого изображен на рисунке 3.

Проведенная ремонтным персоналом с участием одного из авторов диагностика обмотки статора экспериментальной машины показала, что предлагаемый способ позволяет надежно и достаточно просто выявлять поврежденные секции.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого способа для диагностики состояния обмотки статора заключается в возможности надежно без травмирования изоляции остальной части обмотки выявлять место расположения секции с замкнутыми витками. Что позволит провести временный ремонт электрической машины, а, следовательно, многократно сократить время и стоимость ее ремонта.



Рисунок 3 – Внешний вид магнитного индуктора, изготовленного на базе магнитной системы магнитного пускателя третьей величины

Выводы

1 Предлагаемый способ выявления секции со «скрытым» повреждением в трехфазных обмотках электрических машин позволяет повысить надежность диагностирования, сократить число используемого для диагностики оборудования и упростить процесс диагностики.

2 Надежное выявление секции со «скрытым» повреждением в трехфазных обмотках электрических машин позволяет осуществить ее временный ремонт с вырезанием поврежденной секции.

3 Временный ремонт электрической машины с вырезанием поврежденной секции сопровождается некоторой несимметрией ее магнитной системы. Однако при этом электрическая машина способна проработать еще несколько лет до ее капитального ремонта с полной сменой ее трехфазной обмотки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Петров Г. Н.** Электрические машины. Ч.2. Асинхронные и синхронные машины [Текст]. – М. – Л.: Энергия, 1968. – 224 с.

2 **Вольдек А. И.** Электрические машины [Текст]. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

3 **Иванов-Смоленский А. В.** Электрические машины [Текст]. – М.: Энергия, 1980. – 909 с.

4 **Корогодский В. И., Кужеков С. Л., Паперно Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.

5 **Сыромятников И.А.** Эксплуатация изоляции генераторов. Изоляция электрических машин [Текст]. – М.: Госэнергоиздат, 1958. - 255с.

6. **Кулаковский В.Б.** Работа изоляции в генераторах [Текст]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 254с.

7 **Клецель М.Я., Новожилов А.Н., Поляков В.Е.** Защита двигателей от витковых замыканий на кольцевом преобразователе [Текст]. – Изв. Вузов. Электромеханика, 1986, №3, с. 118 – 125.

8 **Соколов Р.И.** Ремонт электродвигателей атомных электростанций [Текст]. -М.: Энергоиздат, 1982.- 102с.

9 **Новожилов А.Н., Имангазинова Д.К.** Методы поиска поврежденной секции в трехфазных обмотках [Текст]. // Вестник ПГУ. Секция энергетическая. – 2024. - №2. -С.254÷265

10 Пат. RU № 2 808798 С1, МПК H02H 3/08; H02K 11/27. Способ диагностики состояния обмотки статора электрической машины [Текст] / **Новожилов А.Н, Новожилов Т.А., Имангазинова Д.К., Исенов Ж.С.** – Заявка №2023104406, заявл. 28.02.2023; опубл. 05.12.2023, Бюл. № 34.

11 **Новожилов А.Н.** Моделирование процессов в системе защиты асинхронных двигателей от витковых замыканий [Текст]. // Электричество. – 1998. – №1. – С.56–59

REFERENCES

1 **Petrov, G. N.** Elektricheskie mashiny. CH.2. Asinhronnye i sinhronnye mashiny [Electric machines. Part 2. Asynchronous and synchronous machines] [Text]. – Moscow – L.: Energiya, 1968. – 224 p.

2 **Vol'dek, A. I.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] [Text]. – Leningrad.: Energiya, 1978. – 832 p.

3 **Ivanov-Smolenskij, A. V.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] [Text]. – Moscow: Energiya, 1980. – 909 p.

4 **Korogodskij, V. I., Kuzhekov, S. L., Paperno, L. B.** Relejnaya zashchita elektrodvigatelej napryazheniem vyshe 1000 V [Relay protection of electric

motors with a voltage above 1000 V] [Text]. – Moscow: Energoatomizdat, 1987. – 248 p.

5 **Syromyatnikov I. A.** Ekspluatatsiya izolyatsii generatorov. Izolyatsiya elektricheskikh mashin [Operation of generator insulation. Insulation of electrical machines] [Text]. – Moscow: Gosenergoizdat, 1958. – 255p.

6 **Kulakovskij V.B.** Rabota izolyatsii v generatorah [Isolation work in generators] [Text]. – Moscow: Energoizdat, 1981. – 254 p.

7 **Klecel' M. YA., Novozhilov A. N., Polyakov V. E.** Zashchita dvigatelej ot vitkovykh zamykanij na kol'cevom preobrazovatele [Protection of motors from loop circuits on the ring converter] [Text]. – Izv. Vuzov. Elektromekhanika, 1986, №3, p. 118 – 125.

8 **Sokolov R. I.** Remont elektrodvigatelej atomnyh elektrostancij [Protection of motors from loop circuits on the ring converter] [Text]. - Moscow: Energoizdat, 1982.- 102 p.

9 **Novozhilov A. N., Imangazina D. K.** Metody poiska povrezhdennoj sekcii v trekhfaznykh obmotkah // Vestnik PGU. Sekciya energeticheskaya. [Text]. – 2024.- №2. - p.254÷26

10 Pat. RU № 2 808798 S1, MPK N02N 3/08; N02K 11/27. Sposob diagnostiki sostoyaniya obmotki statora elektricheskoy mashiny / **Novozhilov A.N, Novozhilov T. A., Imangazina D. K., Isenov ZH. S.** [A method for diagnosing the state of the stator winding of an electric machine / Novozhilov A.N., Novozhilova T.A., Imangazina D.K., Ivanov J.S.] [Text]. – Zayavka №2023104406, zayavl. 28.02.2023; opubl. 05.12.2023, Byul. № 34.

11 **Novozhilov A. N.** Modelirovanie processov v sisteme zashchity asinhronnykh dvigatelej ot vitkovykh zamykanij [Text]. // Elektrichestvo. – 1998.- №1. - p.56÷59

**A.N. Новожиллов¹, Д.К. Имангазинова², Т.А. Новожиллов³, Ж.С. Исенов⁴*

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

³ Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫНЫҢ ҮШ ФАЗАЛЫ ОРАМАЛАРЫНДА «ЖАСЫРЫН» ЗАҚЫМДАНУЫ БАР СЕКЦИЯНЫ АНЫҚТАУ ТӘСІЛІ

Айнымалы токтың үш фазалы электр машиналарында статор мен фазалық ротордың өнімділігі бірдей. Оларды қысқа тұйықталудан қорғау үшін кейде айналмалы тұйықталуға жогары сезімталдығы бар сақиналы өлшеу түрлендіргішіндегі қорғаныстар қолданылады. Оларды жогары сезімтал қорғаныспен электр машинасының желісінен ажырату кейде статор немесе фазалық ротор орамаларында "жасырын" зақымдануы бар бөлімнің пайда болуына әкеледі. Ораманың қалған бөлігін жарақаттамай сенімді оқшаулау "жасырын" зақымдануы бар секцияның орналасқан жерін анықтау электр машинасын уақытша жөндеуге мүмкіндік береді, демек, оны жөндеу уақыты мен құнын бірнеше рет қысқартады.

Сақиналы өлшеу түрлендіргішімен жабдықталған электр машиналарының үш фазалы орамаларында "жасырын" зақымдануы бар бөлімді анықтау үшін ротор электр машинасынан шығарылатын әдісті қолдануға болады, электромагниттік индуктор оның статор немесе фазалық ротордың магниттік құбырының барлық іргелес тістеріне кезектесіп орнатылады. Бұл жағдайда диагноз қойылған бөлімде жабық бұрылыстардың болуы сақиналы өлшеу түрлендіргішінде ЭҚК пайда болуымен анықталады.

Электр машиналарының үш фазалы орамаларында "жасырын" зақымдануы бар бөлімді анықтаудың ұсынылған әдісі диагностиканың сенімділігін арттыруға, диагностика үшін қолданылатын жабдықтардың санын азайтуға және диагностика процесін жеңілдетуге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер. Электр машиналары, үш фазалы орамалар, айналмалы тұйықталулар, "жасырын" зақымданулар, зақымдалған бөлімді іздеу, сақиналы өлшеу түрлендіргіші, магниттік индуктор.

*A. N. Novozhilov¹, D. K. Imangazina², T.A. Novozhilov³,

Zh. Issenov⁴

^{1,2,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

A METHOD FOR DETECTING SECTIONS WITH "HIDDEN" DAMAGE IN THREE-PHASE WINDINGS OF ELECTRIC MACHINES

Three-phase alternating current electric machines have the same design of the stator and the phase rotor. To protect them from short circuits, protections on an annular measuring transducer are sometimes used, which are highly sensitive to winding circuits. Their disconnection from the mains of an electric machine with highly sensitive protection sometimes leads to the formation of a section with «hidden» damage in the windings of the stator or phase rotor. Reliable identification of the location of the section with "hidden" damage without injuring the insulation of the rest of the winding makes it possible to carry out temporary repairs of the electric machine, and, consequently, significantly reduce the time and cost of its repair.

To identify a section with a «hidden» damage in the three-phase windings of electric machines equipped with an annular measuring converter, you can use a method in which the rotor is removed from an electric machine, an electromagnetic inductor is installed alternately on all adjacent teeth of its stator or phase rotor magnetic circuit. In this case, the presence of closed turns in the diagnosed section is determined by the appearance of EMF in the annular measuring transducer.

The proposed method for detecting sections with "hidden" damage in three-phase windings of electric machines makes it possible to increase the reliability of diagnosis, reduce the number of equipment used for diagnostics and simplify the diagnostic process.

Key words: Electrical machines, three-phase windings, winding circuits, «hidden» damages, search for a damaged section, ring measuring transducer, magnetic inductor.

FTAMP 50.47.29

***С. Б. Өмірзақ¹, М. О. Зиябек², К. Е. Арыстанбаев³,
Ж. К. Шумирова⁴**

^{1,2}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті

^{3,4}Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы,
Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2190-8049>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1069-2301>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9499-192X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9583-810X>

*e-mail: omirzaksarah@mail.ru

КӘДІМГІ САРЫСОЯУ (*XANTHIUM STRUMARIUM L.*) ШӨБІНЕН ЭКТРАКТ АЛУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУ

Шымкент қаласындағы «Химфарм» АҚ кәсіпорындағы оқу орталығында «MPS PA Compact-Workstation» атты оқу-зертханалық стендте кәдімгі сарысояу шөбінен экстракт алу процесі автоматтандырылған. Экстрагенттің деңгейін тиімді реттеу үшін P, PI, PID-реттегіштердің айырмашылықтар мен артықшылықтары қарастырлған, нәтижелері график арқылы көрсетілген. Зерттеу нәтижесінде экстракция процесін автоматтандыру үшін PID-реттегіш ұсынылған және PID-реттегіштің коэффициенттері пропорционалдық (P), интегралдық (I) және дифференциалдық (D) есептеліп анықталынған.

Кәдімгі сарысояу (*Xanthium strumarium L.*) шөбінің жоғары концентрациядағы йодын сақтау үшін дәрілік препарат ретінде экстракт алынуы керек. Себебі дәрілік өсімдіктің ең басты ерекшелігі – бұл денеге жақсы сіңірілетін йодтың жоғары концентрациясының болуында. Экстракт алу технологиялық процесі экстракция деп атайды. Экстракция экстрактор деп аталатын аппараттың орындалады. Технологиялық процес барысында материалдық тепе-теңдік сақталып, экстрагент біркелкі жылдамдықпен дәрілік өсімдік шикізатына жіберілуі өте маңызды.

Сондықтан экстракция үздіксіз жүру үшін деңгейді бақылау, әрі реттеу керек. Ал қалған параметрлер тек бақыланып отырса жеткілікті. Сол себептен экстракция *үдерісін* автоматтандыру деңгей параметрін реттеумен жүзеге асырылады. *Түрлендіргіштер мен датчиктерден келетін ақпаратты қабылдауға және оңдеуге, сонымен қатар басқару сигналдарын беру, ақпаратты оператор станциясына жеткізу міндеттерін контроллер атқарады. Жұмыс станциясында орнатылған бағдарламаланатын логикалық контроллер – SIMATIC S7313C.*

Кілтті сөздер: Кәдімгі сарысою, экстрагент, экстракция, *MPS PA Compact-Workstation*, *деңгей датчигі, PID-реттегіш.*

Кіріспе

Xanthium strumarium L. шөбі – биологиялық белсенді заттар көптеп жинақталған, фармакологиялық белсенділігі жоғары, жабайы түрде өсетін, халық медицинасында қолданылып келе жатқан дәрілік өсімдік (сурет 1) [1].



Сурет 1 – Кәдімгі сарысою (Xanthium strumarium L.) шөбі

Кәдімгі сарысою шөбінің жоғары концентрациядағы йодын сақтау үшін дәрілік препарат ретінде экстракт алынуы керек [2; 3].

Экстракция экстрактор аппаратының көмегімен жүзеге асырылады [4]. Экстракция үдерісінің жылдамдату мен келешекте болатын қателіктерді алдын алу үшін экстракторды автоматтандыру қажет.

Материалдар мен әдістері

Зерттеу объектісі ретінде экстракция үдерісін автоматтандыруға экстрактор ретінде «MPS PA Compact-Workstation» жұмыс станциясы пайдаланылды. Жұмыс станциясы Шымкент қаласы «Химфарм» АҚ кәсіпорындағы оқу орталығында орналасқан.

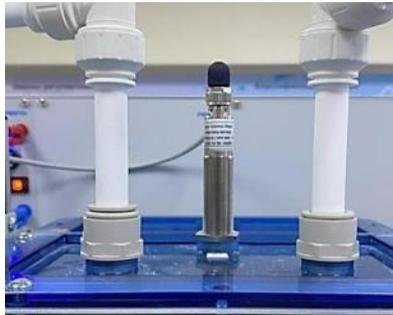
Экстракция үдерісінің қысқаша сипаттамасы: кәдімгі сарысою шикізатына экстрактордың жоғары жағындағы краны арқылы экстрагент жіберіледі. Барлық компоненттерге бай сығынды дәрілік өсімдік шикізатынан материалдық тепе-теңдік сақтай отырып таза экстрагент көмегімен ығыстырылады. Ол үшін экстрагент жылдамдығы біркелкі болуы, әрі экстрактор аппаратының өлшеміне байланысты жылдамдығы 1/24 немесе 1/48 бөлігіне сәйкес келетіндей орнатылуы шарт [5; 6].

*Кәдімгі сарысою (*Xanthium strumarium* L.) шөбінен экстракт алу процесін автоматтандыруға қолданылған «MPS PA Compact-Workstation» жұмыс станциясы 2 суретте көрсетілген.*



Сурет 2 – «MPS PA Compact-Workstation» жұмыс станциясы

Экстракция үдерісін автоматтандыру барысында деңгей параметрін реттеу қажет. Себебі экстракция үздіксіз жүру үшін деңгейді бақылау, әрі реттеу керек, ал қалған параметрлер тек бақыланса, жеткілікті. 3 суретте жұмыс станциясы деңгей датчигімен қамтамасыз етілгендіктен деңгей параметрін реттеп, процесті автоматтандыруға мүмкіндік болды [7].



Сурет 3 – Деңгей датчигі

Түрлендіргіштер мен датчиктерден келетін ақпаратты қабылдауға және өңдеуге, сонымен қатар басқару сигналдарын беру, ақпаратты оператор станциясына жеткізу міндеттерін контроллер атқарады [8]. Жұмыс станциясында орнатылған бағдарламаланатын логикалық контроллер – SIMATIC S7313C (сурет 4).



Сурет 4 – SIMATIC S7313C сыртқы көрінісі

PID-реттегішті орнату үшін келесі коэффициенттер есептеліп, бақыланып анықталынады: пропорционалдық (P), интегралдық (I) және дифференциалдық (D).

Автоматтандыру үшін қажет болатын айнымалылар және зерттеу жұмысына сәйкес керек мәндері төменде көрсетілген:

SP (setpoint) – айнымалының орнатылған резервуардағы мақсаттық шамасы. Зерттеу жұмысына сай бұл айнымалы резервуардағы сұйықтық көлемін береді және мәні $SP = 3$ л тең;

PV (process variable) – ағымдағы процестің өлшеніп жатқан, сонымен қатар зерттеу жұмысы барысындағы резервуардағы сұйықтықтың өзгеруін көрсететін айнымалы;

OUT – бақылануды қажет ететін шығыс айнымалысы, әрі сорғы көмегімен шамасы өзгеріп отырады. Реттегіштің жылдамдығы мен бағыты осы айнымалыға байланысты, сол үшін де бақылауды талап етеді. Оның мәні PV айнымалысы 2,7 л болғанша 100 %-ға тең болуы керек [9].

Айнымалылардың мәнін енгізген соң, есептеу жұмыстары жүргізіледі. Резервуардың жалпы көлемі $V = 10$ л, сонда қажет шаманы келесідей есептеуге болады:

$$X = \frac{SP}{V} \quad (1)$$

$$X = \frac{3 \text{ (л)}}{10 \text{ (л)}} = 0,3$$

“P” коэффициенті келесідей есептелінеді:

$$P = \frac{OUT}{X} \quad (2)$$

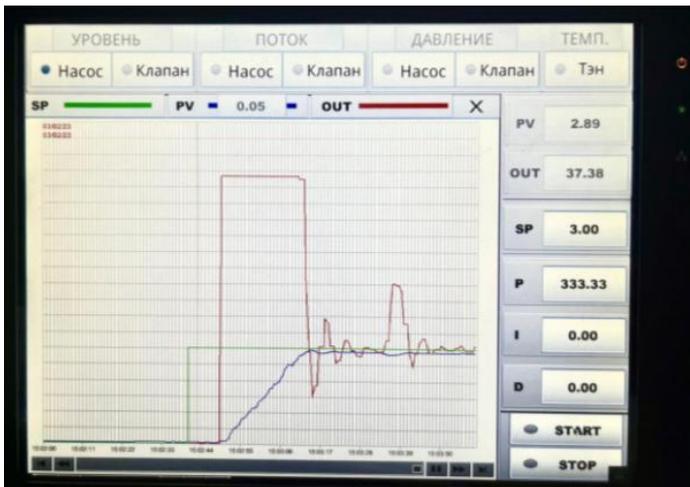
$$P = \frac{100}{0,3} = 333,3$$

«I» коэффициенттің мәні статикалық катеден құтылғанша, есептелінеді. Зерттеу жұмысы бойынша коэффициентті орнату нәтижесінде $I = 50$ тең болды.

Ал “D” коэффициентінің мәні үдерістің өзгеру жылдамдығы әртүрлі ақаулық тербелістерден құтылғанша есептелінеді. Есептеу нәтижесінде $D = 0,4$ тең болды.

Нәтижелер және талқылау

Кәдімгі сарысоюя шөбінен экстракт алуда экстрагенттің деңгейін тиімді реттеу үшін P, PI, PID-реттегіштердің айырмашылықтар мен артықшылықтары графиктер арқылы көрсетілген. Толықтай P-реттегіштің орнатылған графигі 5-ші суретте көрсетілген.



Сурет 5 – Орнатылған P-реттегіштің графигі

Жоғарыдағы графиктен статикалық қате пайда болғанын байқауға болады. *PI-реттегішті сол статикалық қатеден құтылу үшін, әрі PV мәнін барынша SP мәніне барынша жақындату үшін орнатылады [10]. Толықтай PI-реттегіштің орнатылған графигі 6-ші суретте көрсетілген.*



Сурет 6 – Орнатылған PI-реттегіштің графигі

«D» коэффициенті инертті жүйелерді және тербелістерді тыныштандыру, әрі автоматтандыру уақытын қысқарту үшін басқару жүйесінде қолданылады [10]. Тольктай PID-реттегіштің орнатылған графигі 7-ші суретте көрсетілген.



Сурет 7 – Орнатылған PID-реттегіштің графигі

Қорытынды

Зерттеу жұмыстарын қорытындылайтын болсақ, технологиялық процесті автоматтандыру нәтижесінде экстракциялау жылдамдығы біркелкі болып, экстрагент үздіксіз дәрілік өсімдік шикізатына жіберіліп отырды. Сонымен қатар кәдімгі сарысою шөбінен экстракт алу үдерісін реттегіштер арқылы автоматтандыру келесідей нәтижелер берді:

Экстракторды автоматтандыру мақсатта деңгей параметрінің басқарылуы;

Технологиялық процес барысында материалдық тепе-теңдіктің сақталуы;

*Кәдімгі сарысою (*Xanthium strumarium* L.) шөбінен толық экстрактивті заттарға бай сығындының алынуы;*

Сығындылау уақытының технологиялық талаптарына, әрі регламент ережелеріне сәйкес болуы;

Оқу-зертханалық стендпен жұмыс жасау арқылы, өндірісте болатын көптеген қателіктерді алдын алу мүмкіндігі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕККӨЗДЕРДІҢ ТІЗІМІ

1 Өмірзақ, С. Б., Зиябек М. О. Кәдімгі сарысоюя шөбінің ботаникалық сипаттамасы және шикізатты дайындау [Текст] // Қазақстан медицина және фармацевтика журналы. – 2023. – С. 248-252.

2 Өмірзақ, С. Б., Торланова, Б. О., Умирзакова, У. Н. Кәдімгі сарысоюя шөбінің фитохимиялық құрамын зерттеу [Текст] // Вестник ЮКМА. – 2022. – № 4 (98). – С. 10-12.

3 Омирзақ, С. Б., Торланова, Б. О., Умирзакова, У. Н. Фитохимическое исследование травы дурнишника обыкновенного [Текст] // «Наука и инновации в медицине – 2023» сборник материалов конференции. – 2023. – С. 33-34.

4 Краснюк, И. И., Демина, Н. Б., Анурова, М. Н. Фармацевтическая технология : руководство к практическим занятиям [Текст]. – Москва : ГЭОТАР–Медиа, 2018. – 368 с.

5 Чуешов, В. И., Глух, И. В., Сайко, И. В. Технология лекарств промышленного производства [Текст]. – Винница : Новая книга, 2014. – 696 с.

6 Дятлова, Е. П. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами: учеб. пособие для вузов [Текст]. – Санкт-Петербург : Темплан, 2019. – 68 с.

7 Алиев, И. О., Пешко, М. С. Исследование эффективности методов синтеза систем автоматического регулирования [Текст]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – С. 8-13.

8 Rabiee, M. Programmable Logic Controllers : Hardware and Programming, 5th Edition [Text]. – The United States : The Goodheart-Willcox Company, 2023. – 479 p.

9 Омирзақ, С. Б., Арыстанбаев, К. Е. Регулирование уровня жидкости в перколяторе с помощью рабочей станции «MPS RA COMPACT-WORKSTATION» [Текст] // Казахстанский журнал медицины и фармацевтики. – 2023. – С. 122-126.

10 Фешин, Б.Н., Мурдалова, Е.О. Исследование многосвязной САР – процессорной станции FESTO [Текст] // Журнал «Автоматика и информатика». – 2010. №1-2. – С. 100-104.

REFERENCES

1 Omirzak, S. B., Ziyabek, M. O. Ka'dimgi sarysoyau sho'bi'ni'n' botani'kalyk' si'pattamasy zha'ne shi'ki'zatty daiyndau [Botanical characteristics of *Xanthium strumarium* L. and preparation of raw materials] [Text] // K'azak'stan meditsina zha'ne farmatsi'ya zhurnaly. – 2023. – P. 248-252.

2 Omirzak, S. B., Torlanova, B. O., Umirzakova, U. N. Ka'dim'gi' sarysoyau sho'bi'ni'n' fi'tohi'myalyk' k'uramyn zertteu [Phytochemical study of the *Xanthium strumarium* L.] [Text] // Vestnik UKMA. – 2022. – № 4(98). – P. 10-12.

3 Omirzak, S. B., Torlanova, B. O., Umirzakova, U. N. Fitohimicheskoe issledovanie travy durnishnika obyknovenngo [Phytochemical study of the *Xanthium strumarium* L.] [Text] // «Nauka i innovatsii v meditsine – 2023» sbornik materialov konferehtsii. – 2023. – P. 33-34.

4 Krasnyuk, I. I., Demina, N. B., Anurova, M. N. Farmatsevticheskaya tehnologiya : rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam [Pharmaceutical technology : guide to practical exercises] [Text]. – Moskva : GEOTAR –Media, 2018. – 368 p.

5 Chueshov, V. I., Gladuh, I. V., Sayko, I. V. Tehnologiya lekarstv promyshlennogo proizvodstva [Industrial drug technology] [Text]. – Vinnitsa : Novaya kniga, 2014. – 696 p.

6 Dyatlova, E. P. Proektirovanie avtomatizirovannyh system upravleniya tehnologicheskimi protsessami : ucheb. posobie dlya vuzov [Design of automated process control system : a textbook for universities] [Text]. – Sankt-Peterbug : Templan, 2019. – 68 p.

7 Alieva, I. O., Peshko, M. S. Issledovanie effektivnosti metodov sinteza system avtomaticheskogo regulirovaniya [Study of the effectiveness of methods for synthesizing automatic control system] [Text]. – Omsk : Izd-vo OmGTU, 2018. – P. 8-13.

8 Rabiee, M. Programmable Logic Controllers : Hardware and Programming, 5th Edition [Text]. – The United States : The Goodheart-Willcox Company, 2023. – 479 p.

9 Omirzak, S. B., Arystanbayev, K. Ye. Regulirovanie urovnya zhidkosti v perkolyatore s pomoschyu rabochei stantsii «MPS PA COMPACT-322

WORKSTATION» [Regulating the liquid level in the percolator using «MPS PA COMPACT-WORKSTATION»] [Text] // Kazakhstanskiy zhurnal meditsiny i farmatsii. – 2023. – P. 122-126.

10 Feshin, B. N., Murdalova, E. O. Issledovanie mnogocvyaznoy SAR – protsessornoystantsii FESTO [Study of muliconnected ACS – processor station FESTO] [Text] // Zhurnal «Avtomatika i informatika». – 2010. №1-2. – P. 100-104.

***С. Б. Омирзак¹, М. О. Зиябек², К. Е. Арыстанбаев³, Ж. К. Шиминова⁴**

^{1,2}Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова

^{3,4}Южно-Казахстанская медицинская академия,

Республика Казахстан, г. Шымкент

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ТРАВЫ ДУРНИШНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (XANTHIUM STRUMARIUM L.)

В данной статье представлена автоматизация процесса экстракции с установкой PID-регулятора, осуществляемая на учебно-лабораторном стенде «MPS PA Compact-Workstation», расположенной в учебном центре в АО «Химфарм» г. Шымкент. на графике показаны различия и преимущества P, PI, PID-регуляторов для эффективной регуляции уровня экстрагента при экстракции травы дурнишника обыкновенного. Для установки PID-регулятора были рассчитаны и определены следующие коэффициенты: пропорциональный (P), интегральный (I) и дифференциальный (D).

*Самая главная особенность лекарственного растения – наличие высокой концентрации йода, который хорошо усваивается организмом. Для сохранения йода высокой концентрации травы дурнишника обыкновенного (*Xanthium strumarium* L.) необходимо сделать экстракт в качестве лекарственного препарата. Экстракция является одним из важнейших технологических процессов получение экстракта. Процесс экстракции осуществляется с помощью экстракционного аппарата. Очень важно,*

чтобы в ходе технологического процесса сохранялся материальный баланс и экстрагент с равномерной скоростью направлялся в лекарственное растительное сырье. Чтобы процесс экстракции происходил непрерывно, уровень экстракта необходимо контролировать и регулировать. А остальных параметров достаточно только следить. Поэтому автоматизация процесса экстракции осуществляется регулировкой параметра уровня. Задачи приема и обработки информации, поступающей от преобразователей и датчиков, а также передачи управляющих сигналов, доставки информации на станцию оператора выполняет контроллер. Программируемый логический контроллер, установленный на рабочей станции – SIMATIC S7313C.

Ключевые слова: Дурнишник обыкновенный, экстрагент, экстракция, MPS PA Compact-Workstation, датчик уровня, PID-регулятор.

***S. B. Omirzak¹, M. O. Ziyabek², K. E. Arystanbaev³, Zh. K. Shimirova⁴**

^{1,2}South Kazakhstan University named after M. Auezov

^{3,4}South Kazakhstan Medical Academy,

Republic of Kazakhstan, Shymkent

AUTOMATION OF THE EXTRACTION PROCESS OF THE XANTHIUM STRUMARIUM L.

The article presents the automation of the extraction process with the installation of a PID-controller, carried out at the «MPS PA Compact-Workstation» training and laboratory stand located in the training center at JSC «Chimpharm» in Shymkent. The graph shows the differences and advantages of P, PI, PID-regulators for effective regulation of the extractant level during the extraction of the Xanthium strumarium L. The following coefficients have been calculated and determined for the installation of the PID-regulator: proportional (P), integral (I) and differential (D).

*The most important feature of the medicinal plant is the presence of a high concentration of iodine, which is well absorbed by the body. To preserve the iodine of a high concentration of the herb *Xanthium strumarium* L., it is necessary to make an extract as a medicinal product. One of the most important technological processes for obtaining an extract is extraction. The extraction process is carried out using an extraction device. It is very important that the material balance is maintained during the technological process and the extractant is sent to medicinal plant raw materials at a uniform rate. In order for the extraction process to occur continuously, the extract level must be monitored and adjusted. And the rest of the parameters just need to be monitored. Therefore, the automation of the extraction process is carried out by adjusting the level parameter. The tasks of receiving and processing information from converters and sensors, as well as transmitting control signals, and delivering information to the operator's station are performed by the controller. The programmable logic controller installed on the workstation is the SIMATIC S7313C.*

*Keywords: *Xanthium strumarium* L., extractant, extraction, MPS PA Compact-Workstation, level sensor, PID-regulator.*

***Г. Сейтенова¹, Р. Дюсова², Ж. Нурахметова³,
С. Коспармакова⁴, А. Джексембаева⁵**

*^{1,3,4,5}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана*

²Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**e-mail: gainiseitenova@gmail.com*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2558-8579>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4700-364X>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6153-9580>

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕР- МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА

В данной статье представлена технология производства полимер-модифицированного битума, направленную на оптимизацию процесса. Полимерно-модифицированный битум (ПМБ) с использованием полипропилена (ПП) может использоваться в качестве альтернативы первичному вяжущему для выдерживания значительной транспортной нагрузки. В статье приведена принципиально новая технология производства полимер-модифицированного битума из сырья казахстанских производителей одного региона и, как следствие, организация производства в одном регионе, способствующей снижению затрат на транспортировку сырья и готовой продукции, что в свою очередь приводит к снижению энергопотребления и в целом к оптимизации производственных процессов. Результаты исследования показывают хорошую динамику по улучшению эксплуатационных характеристик дорожного битума с использованием полипропилена. Добавление вакуумного газойля в качестве пластификатора приводит к увеличению эластичности,

улучшению адгезии к поверхности, изменению реологических свойств, модификации температурных свойств, энергосбережению, улучшению устойчивости к окислению и старению в качестве антиоксиданта. Растворимость полипропилена в парафиновых, изопарафино-нафтенowych и ароматических углеводородах различна, следовательно, огромное влияние имеет химический состав вакуумного газойля, необходимо иметь данные группового и компонентного состава и требует дальнейшего исследования.

Ключевые слова: битум, полипропилен, пластификатор, вакуумный газойль, оптимизация

Введение

Согласно отчетам мировых агентств мировой рынок битума будет расти между 2023 и 2030 гг (табл.1) [1; 2].

Таблица 1 – Рынок битума, по регионам, млрд. долл. США

Страна	2020	2027
Северная Америка	12	16
Европа	10	13
Азиатско-Тихоокеанский регион	27	37
Южная Америка	2	5
Ближний Восток и Африка	3	5

Таблица 2 – Динамика объема рынка битумов в РК

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Значение, тыс.тонн	830	961	980	1200	1373

Полимерно-модифицированный битум (ПМБ) может использоваться для выдерживания значительной транспортной нагрузки. Использование полимерных материалов во всем мире имеет тенденция к росту, поскольку их утилизируют как твердые бытовые отходы (ТБО) и заменяют первичные полимеры в качестве модификатора битума [3]. Можно производить высококачественный переработанный ПП, демонстрирующий идентичные или улучшенные характеристики по сравнению с первичным ПП, что

экономит 20–50% стоимости. Количество полимеров обычно колеблется от 1 % до типичных 3 %, и в некоторых случаях – 7%. Термопластичные эластомеры придают битуму жесткость при высоких температурах и делают его менее хрупким при низких температурах, а их каучуковые свойства придают битуму наилучшее сочетание свойств для достижения желаемых характеристик в зависимости от конечного использования. Во многих работах [4-18] известно об исследованиях модификации битума полипропиленом, изучение свойств полимер-битумов.

Целью данного исследования является оптимизация процесса производства полимер-модифицированного битума (производитель – ТОО «ПНХЗ») с использованием термопласта – производитель ТОО «Компания Нефтехим LTD» (г. Павлодар) и пластификатора – жидкого нефтяного остатка (производитель ТОО «ПНХЗ») и организация производства в одном регионе, способствующей снижению затрат на транспортировку сырья и готовой продукции, что в свою очередь приводит к снижению энергопотребления и в целом к оптимизации производственных процессов.

Материалы и методы

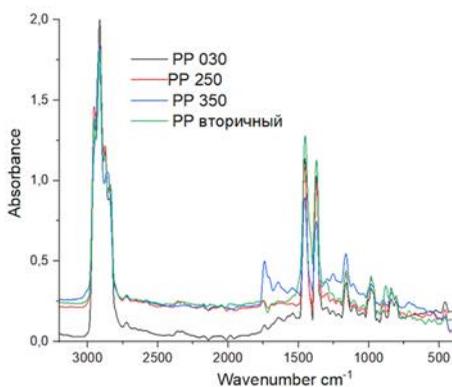
Для приготовления смесей в исследовании использовался битум марки 100/130, производитель –ТОО «ПНХЗ», (г. Павлодар). В качестве термопласта использовался полипропилен марок PP H030, PP H350. Производитель ТОО «Компания Нефтехим LTD» (г. Павлодар). В качестве добавки для снижения вязкости и увеличения растяжимости использовался вакуумный газойль ТОО «ПНХЗ».

Таблица 3 – Свойства и характеристики битума 100/130

<i>Показатель</i>	<i>Значение</i>
Глубина проникновения иглы при 25°C, 0,1 мм	111
Температура размягчения по КиШ(°C)	46
Растяжимость при 25 °C, см	121
Температура хрупкости по Фраасу, °C	-26
Растворимость, %	99,98
Содержание парафина, %	1
Изменение массы после прогрева, %	0,1

Изменение температуры размягчения, °C

5

**PP H030****PP H350****Рисунок 1. Образцы полипропилена****Рисунок 2. ИК-спектры ПП**

ИК-спектры ПП и ППВ измерялись в диапазоне 4200... 400 см^{-1} . Полученные ИК-спектры ПП и ППВ приведены на рис.2. В области 1741-1742 см^{-1} проявляется слабое «плечо», свидетельствующее о наличии С=О карбонильных групп в ПП с массой 350 и 30. Пики в ИК-спектре 2914-2918 см^{-1} соответствуют колебаниям асимметричных метиленовых групп (-CH₂). Пики 1372 см^{-1} характеризует СН₃- метиловые группы, пики 1170-1458 см^{-1} связаны с колебаниями СН₂- метиленовых групп, пики в диапазоне 1160-1162 см^{-1} соответствует асимметричным колебаниям связи С-С-С в полимерной цепи.

Физико-механические характеристики битума БНД 100/130 были определены в соответствии с СТ РК 1373-2013 «Битумы и битумные

вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия» [19], а модифицированные битумы определены по СТ РК 2534 – 2014 «Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные модифицированные, дорожные. Технические условия» [20].

Таблица 4 – Характеристики полипропилена

	PP H030	PP H350
Показатель текучести расплава, г/10мин	3,3	36,7
Разброс значений показателя текучести в пределах партии, % не более	4,6	8,4
Модуль упругости при изгибе, Мпа, не менее	1187	1083
Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,04	0,04
Предел текучести при растяжении, МПА, не менее	33,0	30,4
Относительное удлинение при пределе текучести, %, не менее	11	10
Размер гранул, мм	4,3	4,3
Интенсивность запаха, балл, не более	1	1

Исходный битум и полимер-модифицированный битум были проанализированы с помощью тестов на проникновение и определение точки размягчения с помощью кольца и шарика. Измерения при 25 °С определяют класс пенетрации испытуемого битума по СТ РК 1226-2003 «Битумы и битумные вяжущие. Метод определения глубины проникания иглы» [18].

Температура размягчения по кольцу и шару – это температура, при которой металлический шар диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г, располагаемый перед началом испытания на поверхности битума, залитого в ступенчатое кольцо с внутренним диаметром 15,7 мм и высотой 6,35 мм, в процессе нагрева, начиная от 5⁰С, со скоростью 5 град/мин коснется нижней поверхности измерительного прибора. Данное испытание

проводилось в соответствии с СТ РК 1227-2003 «Битумы и битумные вяжущие. Определение точки размягчения методом кольца и шара» [19].

Растяжимость или дуктильность оценивается показателем растяжимости, который определяется по удлинению шейки образца восьмерки при его растяжении с определенной скоростью (0,5 мм/мин) при температуре 25⁰С в специальном приборе дуктилометре, отсюда широко распространен термин дуктильность, характеризующий растяжимость. Данное испытание проводят согласно СТ РК 1374-2005 «Битумы и битумные вяжущие. Метод определения растяжимости» [20].

Результаты и обсуждение

Были проведены испытания исходных битумов, получены результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты исследования исходного битума

Битум БНД 100/130	1	2	3	4	5
Глубина проникания иглы х0,1 мм, 25°	107,9	106,3	118,4	103,7	104,8
Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	45,2	45,2	46,2	45,6	45,4
Растяжимость при температуре 25°С, см, не менее	9 5,07	8 3	8 5,5	9 5,75	9 6,5

Полимербитумы приготовлены с помощью механического смесителя при скорости 2000 ± 10 об/мин в течение 2 часов. Также были смеси, приготовленные в течении 1–1,5 ч, которые не дали нужных результатов, гранулы полипропилена не растворялись равномерно в смеси. Температура смешивания поддерживалась в пределах 165 –175 °С. Битум 200 – 300 г нагревали до 165 -175°С, чтобы получить жидкий битум для смешивания. Затем включали мешалку, и постепенно добавляли полипропилен, непрерывно смешивая. Для каждой марки ПП было приготовлены различные смеси с процентным соотношением 2,5%, 3%, 3,5%, 4%.

Вакуумный газойль добавляли за 15 – 20 мин до окончания смешивания, в процентном соотношении 0,3%, 0,9%, 1,5%, 2,1%. Результаты исследования представлены в таблицах 6-8.

Таблица 6 – Результаты исследования смеси битум БНД 100/130 – полипропилен Н030

Состав	Проб а 1	Проб а 2	Проб а 3	Проба 4
Битум БНД 100/130, содержание, %	97,5	97	96,50	96
РР Н030, содержание,%	2 ,5	3	3 ,50	4
Глубина проникания иглы х0,1 мм, 25°	6 1,2	5 9,1	5 6,8	4 6,8
Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	5 0	5 3,4	5 7	6 1,2
Растяжимость при температуре 25°С, см, не менее	2 1,7	1 7,1	1 2,2	1 0,05

Исходя из результатов испытаний, можно проанализировать влияние добавления ПП на характеристики битума. Так значение пенетрации (глубина проникания иглы) снижается с увеличением содержания ПП, что указывает на улучшение показателей проникающей способности смеси. Уменьшение глубины проникания иглы свидетельствует об увеличении к стойкости к деформациям и водонепроницаемости. Температура размягчения по методу КиШ постепенно повышается с увеличением содержания ПП. Это свидетельствует о повышении термической стойкости смеси при добавлении полимера. Более высокая температура размягчения указывает на увеличение диапазона температур, при которых смесь остается устойчивой и не подвержена деформации.

Растяжимость существенно снижается при увеличении содержания полимера. Это может указывать на уменьшение эластичности смеси при использовании полимера. Уменьшение растяжимости означает, что смесь становится менее способной к деформациям без разрушения, поэтому будет целесообразным использование пластификатора.

Таблица 7 – Результаты исследования смеси битум БНД 100/130 – полипропилен Н030 – вакуумный газойль

Состав	Проб а 1	Проб а 2	Проб а 3	Проб а 4
Битум БНД 100/130, содержание, %	96	95,4	95,10	94,50
РР Н 030, содержание, %	4	4	4	4
Вакуумный газойль, содержание, %	0	0,30	0,90	1,50
Глубина проникания иглы x0,1 мм, 25°	46,8	39,6	34,35	39,96
Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	61,2	65	65,4	58,4
Растяжимость при температуре 25°С, см, не менее	10,05	7,35	7,7	10,5

Значение пенетрации снижается при добавлении вакуумного газойля. Это может указывать на уплотнение структуры смеси и улучшение ее проникающей способности. Однако, можно уверенно сказать о сложном влиянии добавления ВГ на структуру смеси.

Температура размягчения постепенно повышается с добавлением вакуумного газойля. Это указывает на увеличение термической стойкости смеси при его использовании. Растяжимость снижается при добавлении вакуумного газойля на первых этапах (от 0,30% до 0,90%), далее на четвертом этапе она увеличивается. Это связано с изменением структуры смеси под воздействием добавленного компонента.

Таблица 8 – Результаты исследования смеси битум БНД 100/130 – полипропилен Н350 – вакуумный газойль

Битум БНД 100/130	96 %	95, 7	96,1 0 %	95,1 0 %	94. 5 %	93, 9
PP Н350	4%	4%	3%	4%	4%	4%
ВГ	0	0,3 0 %	0,90 %	0,90 %	1,5 0 %	2,1 0 %
Глубина проникания иглы x0,1 мм, 25°	46, 8	69, 2	57,2 5	53,7	31, 4	76, 4
Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	61, 2	54	56,6	59,7 5	62, 2	53
Растяжимость при температуре 25°С, см, не менее	10, 0 5	17, 9	14,1	11	7,7	18, 6

Значение пенетрации изменяется при различном содержании полимера и ВГ. Добавление 1,5 % ВГ приводит к снижению глубины проникания иглы, тогда как наличие полимера PP Н350 в смеси может способствовать ее увеличению. Температура размягчения существенно влияет в зависимости от химического состава ВГ.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется в рамках программно-целевого финансирования Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (№ «BR21882278 Создание строительно-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла аккредитованных услуг строительного, дорожно-строительного сектора Республики Казахстан»)

Выводы

Результаты исследования показывают хорошую динамику по улучшению эксплуатационных характеристик дорожного битума.

Добавление вакуумного газойля приводит к увеличению эластичности, улучшению адгезии к поверхности, изменению реологических свойств, модификации температурных свойств, энергосбережению, улучшению устойчивости к окислению и старению в качестве антиоксиданта. Использование компонентов в модифицировании битума, производимого из одного сырья региона снижает экономическую стоимость технологии из-за доступности, способствует снижению энергозатрат на логистику и транспортировку, что сокращает общее энергопотребление в производственном процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 *Global Bitumen Market Report 2024 Market Size Split by Type // Natural Bitumen // Petroleum Bitumen, Coal Tar Pitch, Application (Roadways, Waterproofing, Adhesives, Insulation) – 2024.*

2 *Bitumen Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report by Type, by End-use Industry : Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032 // MC : Renewable, Speciality And Fine Chemicals Sep 2023 – Report Code: A01263 – P.212.*

3 **Dong W, Li M, Xing H, Wang L, Zhang Z, Qiu J, Zhang G, Tang T.** *Preparation and characterisation of long-chain branched polypropylene mediated by different heteroaromatic ring derivatives // Polymer 54, 2023 – P. 639–651*

4 **Li Y, Jia S, Du S, Wang Y, Lv L, Zhangz J.** *Improved properties of recycled polypropylene by introducing the long-chain branched structure through reactive extrusion // Waste Manage 76. – 2018 – P. 172–179.*

5 **Shaffie E, Arshad AK, Putra Jaya R, Masri KA, Hashim W** (2020) *Permanent deformation investigation of rubber polymer modified binder in superpave hot mix asphalt mixture, 2020. [Электронный ресурс] – URL: <https://nsembilan.uitm.edu.my/joacns/> (дата обращения: 17.01.2024).*

6 **Abtahi S.M, Sheikhzadeh M., Hejazi S.M.** *Reinforced asphalt-concrete – a review // Constr Build Mater – 2010 – 24(6) – P. 871–877.*

7 **Bocci E, Prospero E, Bocci M.** *Rheological Modeling of Bituminous Mixtures Including Polymer-Modified Binder and Fine Crumb Rubber Added through Dry Process – 2023. DOI: 10.3390/ma16010310*

8 **Gupta A., Lastra-Gonzalez P., Rodriguez-Hernandez J.** *Critical assessment of new polymer-modified bitumen for porous asphalt mixtures – 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124957*

9 **А. Хайбуллина, Б. Ваганов.** *Современные модификаторы для получения полимерно-битумных вяжущих. – 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/516/1/012040*

10 **Калантар З.Н., Карим М.Р. и Мarez А.** *Обзор использования отходов и первичного полимера в дорожном покрытии. Строительство и строительные материалы. – 2012 – №33 – С. 55-62.*

11 **Zhang W, Zhen M, Liu X, Ju J, Dong C.** *Preparation of emulsified type cold-mix asphalt with waterborne epoxy resin and polypropylene for pothole repair // J Mater Civ Eng – 2022.*

12 *Impact of molecular structure of PP on thermo-rheological properties of polymer-modified bitumen// Schaur aunterberger slackner R – 2021. DOI;10.1016/j.conbuildmat122981.*

13 **Yuanita, E., Hendrasetyawan, B., & Firdaus, D., & Chalid, M.** *Improvement of polypropylene (PP)-modified bitumen through lignin addition. // In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. – 2017.*

14 **Habib, N., Kamaruddin, I., Napiah, M., & Tan, I.** *Rheological properties of polyethylene and polypropylene modified bitumen // International Journal of Civil and Environmental Engineering. – 2011 - №3. – P. 96–100.*

15 **Hemanta Kumar Behera, Debabrata Giri, Sudhanshu Sekhar Das.** *Moisture and rutting resistance of recycled polypropylene fiber - modified dense bituminous mix // Innovative Infrastructure Solutions. – 2023. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01118-5>*

16 *Национальный стандарт Казахстана. СТ РК 1373-2013 «Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – 01.07.2014 – С. 20.*

17 *Национальный стандарт Казахстана. СТ РК 2534 – 2014 «Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные модифицированные, дорожные. Технические условия». – 2014. – С. 72.*

18 *Национальный стандарт Казахстана. СТ РК 1226-2003 «Битумы и битумные вяжущие. Метод определения глубины проникания иглы». – 01.01.2005 – С.38.*

19 *Национальный стандарт Казахстана. СТ РК 1227-2003 «Битумы и битумные вяжущие. Определение точки размягчения методом кольца и шара». – 01.01.2005 – С.15.*

20 *Национальный стандарт Казахстана. СТ РК 1374-2005 «Битумы и битумные вяжущие. Метод определения растяжимости». – 01.01.2005. – С 31.*

REFERENCES

1 Global Bitumen Market Report 2024 Market Size Split by Type (Natural Bitumen, / Petroleum Bitumen, Coal Tar Pitch), Application (Roadways, Waterproofing, Adhesives, Insulation). – 2024.

2 Bitumen Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report by Type, by End-use Industry : Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032 // MC : Renewable, Speciality And Fine Chemicals Sep 2023 – Report Code: A01263. – P.212.

3 **Dong W, Li M, Xing H, Wang L, Zhang Z, Qiu J, Zhang G, Tang T.** Preparation and characterisation of long-chain branched polypropylene mediated by different heteroaromatic ring derivatives // Polymer 54 – 2023 – P. 639–651.

4 **Li Y, Jia S, Du S, Wang Y, Lv L, Zhang J.** Improved properties of recycled polypropylene by introducing the long-chain branched structure through reactive extrusion // Waste Manage 76. – 2018 – P. 172–179.

5 **Shaffie E, Arshad AK, Putra Jaya R, Masri KA, Hashim W.** Permanent deformation investigation of rubber polymer modified binder in superpave hot mix asphalt mixture. – 2020 [Electroniy resurs] [Electronic resource] – URL: <https://nsembilan.uitm.edu.my/joacns/> (data obrasheniya [date of application]: 17.01.2024).

6 **Abtahi SM, Sheikhzadeh M, Hejazi SM.** Reinforced asphalt-concrete - a review // Constr Build Mater – 2010 – 24(6) – P. 871–877.

7 **Bocci E, Prospero E, Bocci M.** Rheological Modeling of Bituminous Mixtures Including Polymer-Modified Binder and Fine Crumb Rubber Added through Dry Process. – 2023. DOI: 10.3390/ma16010310.

8 **Gupta A., Lastra-Gonzalez P., Rodriguez-Hernandez J.** Critical assessment of new polymer-modified bitumen for porous asphalt mixtures. – 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124957.

9 **A. Khaibullina, B. Vagapov.** Sovremennie modificatory dliya poluzcheniya polimerno-bitumnih vyazhushih. [Modern modifiers for the production of polymer-bitumen binders] – 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/516/1/012040.

10 **Kalantar Z.N., Karim M.R. i Marez A.** Obzor ispolzovaniya othodov I pervichnogo polimera v dorojnom pokritii. Stroitel'stvo i stroitel'nie materialy. [An overview of the use of waste and primary polymer in the road surface. Construction and building materials] – 2012 – №33. – P.55–62.

11 **Zhang W, Zhen M, Liu X, Ju J, Dong C.** Preparation of emulsified type cold-mix asphalt with waterborne epoxy resin and polypropylene for pothole repair. *J Mater Civ Eng* – 2022 – 04022231(34):9.

12 Impact of molecular structure of PP on thermo-rheological properties of polymer-modified bitumen // Schaur aunterberger slackner R – 2022. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122981.

13 **Yuanita, E., Hendrasetyawan, B., & Firdaus, D., & Chalid, M.** Improvement of polypropylene (PP)-modified bitumen through lignin addition. // In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. – 2017.

14 **Habib, N., Kamaruddin, I., Napiah, M., & Tan, I.** Rheological properties of polyethylene and polypropylene modified bitumen. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. – 2011 – №3. P. 96–100.

15 Hemanta Kumar Behera, Debabrata Giri, Sudhanshu Sekhar Das. Moisture and rutting resistance of recycled polypropylene fiber- modified dense bituminous mix // *Innovative Infrastructure Solutions* – 2023. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01118-5>.

16 Natsional'nyi standart Kazakhstana [The national standard of Kazakhstan]. ST RK 1373-2013 «Bitumy i bitumnye vyazhushchie. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie usloviya [ST RK 1373-2013 «Bitumen and bitumen binders. Bitumen oil road viscous». Technical conditions] – 01.07.2014 – C. 20.

17. Natsional'nyi standart Kazakhstana [The national standard of Kazakhstan]. ST RK 2534 – 2014 «Bitumy i bitumnye vyazhushchie. Bitumy neftyanye modifitsirovannye, dorozhnye. Tekhnicheskie usloviya» [ST RK 2534 – 2014 «Bitumen and bitumen binders. Modified petroleum bitumen, road bitumen. Technical conditions»] – 2014. – C. 72.

18 Natsional'nyi standart Kazakhstana. [The national standard of Kazakhstan]. ST RK 1226-2003 «Bitumy i bitumnye vyazhushchie. Metod opredeleniya glubiny

pronikaniya igly». [ST RK 1226-2003 «Bitumen and bitumen binders. The method of determining the depth of penetration of the needle»] – 01.01.2005 – С.38.

19. Natsional'nyi standart Kazakhstana. [The national standard of Kazakhstan]. ST RK 1227-2003 «Bitumy i bitumnye vyazhushchie. Opredelenie tochki razmyagcheniya metodom kol'tsa i shara». [ST RK 1227-2003 «Bitumen and bitumen binders. Determination of the softening point by the ring and ball method»] - 01.01.2005 – С.15.

20. Natsional'nyi standart Kazakhstana. [The national standard of Kazakhstan]. ST RK 1374-2005 «Bitumy i bitumnye vyazhushchie. Metod opredeleniya rastyazhimosti». [ST RK 1374-2005 «Bitumen and bitumen binders. The method of determining extensibility»] – 01.01.2005. – P. 31.

*Г. Сейтенова¹, Р. Дюсова², Ж. Нурахметова³,
С. Коспармакова⁴, А. Джексембаева⁵

^{1,3,4,5}Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана

²Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: gainiseitenova@gmail.com

ПОЛИМЕР-МОДИФИКАЦИЯ ЛАНҒАН БИТУМ ӨНДІРІСІНІҢ ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДЕЙТІН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Бұл мақалада процесті оңтайландыруға бағытталған полимер - модификацияланған битумды өндіру технологиясы келтірілген. Мақалада бір өңірдің қазақстандық өндірушілерінің шикізатынан полимер-Модификацияланған битум өндірісінің түбегейлі жаңа технологиясы және соның салдарынан шикізат пен дайын өнімді тасымалдауға жұмсалатын шығындарды азайтуға ықпал ететін бір өңірде өндірісті ұйымдастыру келтірілген, бұл өз кезегінде энергия тұтынудың төмендеуіне және жалты өндірістік процестерді оңтайландыруға алып келеді. Зерттеу нәтижелері полипропиленді қолдана отырып, жол битумының өнімділігін жақсартудың жақсы динамикасын көрсетеді. Пластификатор ретінде вакуумдық газойлды қосу серпімділіктің жоғарылауына,

бетке адгезияның жақсаруына, реологиялық қасиеттердің өзгеруіне, температуралық қасиеттердің өзгеруіне, энергияны үнемдеуге, антиоксидант ретінде тотығуға және қартаюға төзімділіктің жақсаруына әкеледі. Парафинді, изопарафинді-нафтенді және хош иісті көмірсутектердегі полипропиленнің ерігіштігі әртүрлі, сондықтан вакуумдық газойлдың химиялық құрамы үлкен әсер етеді, топтық және компоненттік құрамы туралы мәліметтер болуы керек және одан әрі зерттеуді қажет етеді.

Түйін сөздер: битум, полипропилен, пластификатор, вакуумдық газойл, оңтайландыру

G. Seitenova¹, R.Dyussova², Zh.Nurakhmetova³, S. Kosparmakova⁴,
A.Jexembayeva⁵

^{1,3,4,5}L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana,

²Toraighyrov university, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF POLYMER-MODIFIED BITUMEN

This article presents a technology for the production of polymer-modified bitumen aimed at optimizing the process. The article presents a fundamentally new technology for the production of polymer-modified bitumen from raw materials from Kazakhstani producers in one region and, as a result, the organization of production in one region, which helps to reduce the cost of transporting raw materials and finished products, which in turn leads to lower energy consumption and, in general, to optimize production processes. The results of the study show good dynamics in improving the performance of road bitumen using polypropylene. The addition of vacuum gas oil as a plasticizer leads to an increase in elasticity, improved adhesion to the surface, a change in rheological properties, modification of temperature properties, energy conservation, improved resistance to oxidation and aging as an

antioxidant. The solubility of polypropylene in paraffin, isoparaffin-naphthenic and aromatic hydrocarbons is different, therefore, the chemical composition of vacuum gas oil has a huge impact, it is necessary to have data on group and component composition and requires further research.

Keywords: bitumen, polypropylene, plasticizer, vacuum gas oil, optimization

***Н. К. Смайлов¹, С.Ж. Кошкинбаев², Е. Таштай³,
М.Н. Жекамбаева⁴, А. Ә. Әмір⁵**

^{1,3,4,5}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

²Университет Мирас, Республика Казахстан, г. Шымкент

*e-mail: n.smailov@satbayev.university

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-9549>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0809-537X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0612-6336>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4001-3745>

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматриваются возможности использования волоконно-оптических датчиков для диагностики состояния металлических и бетонных конструкций. Волоконно-оптические датчики привлекают внимание благодаря своей высокой чувствительности, невосприимчивости к электромагнитным помехам и устойчивости к суровым условиям окружающей среды. Исследование включает всесторонний анализ существующей литературы, методологий и проблем, связанных с применением этих датчиков. Авторы подчеркивают их эффективность в предоставлении данных в режиме реального времени о структурной целостности, что способствует профилактическому обслуживанию и повышению безопасности инфраструктурных объектов.

В статье представлены примеры успешного применения волоконно-оптических датчиков, таких как мониторинг деформаций мостов, обнаружение утечек в трубопроводах и

контроль трещин в зданиях. Рассмотрены текущие исследования, направленные на повышение точности датчиков, разработку новых конфигураций и методов анализа данных, а также интеграция с искусственным интеллектом и алгоритмами машинного обучения для улучшения обработки данных.

Авторы обсуждают проблемы и ограничения, включая надежность датчиков, сложности их установки и экономическую эффективность, а также необходимость стандартизации протоколов развертывания и интерпретации данных. В заключении предлагаются рекомендации по будущим исследованиям и возможностям для улучшения технологии волоконно-оптических датчиков, включая расширение сотрудничества между академическими кругами, промышленностью и государственными учреждениями.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики, высокоскоростные деформаций, бетонные конструкций, импульсное воздействие, оптический датчик деформаций.

Введение

Оптоволоконные датчики становятся важной альтернативой традиционным методам мониторинга состояния металлических и бетонных конструкций. Они используются для измерения деформации, температуры и давления, предоставляя ценную информацию о структурной целостности. Применение оптоволоконных датчиков в мостах позволяет обнаруживать структурные деформации, в трубопроводах — утечки и коррозию, а в зданиях — трещины и общую структурную целостность. Текущие исследования сосредоточены на улучшении точности и разработке новых конфигураций датчиков, а также на интеграции искусственного интеллекта для анализа данных. Проблемы включают надежность, калибровку и экономическую эффективность. В будущем важно продолжать сотрудничество между академическими, промышленными и государственными учреждениями для разработки стандартизированных протоколов и руководств по установке и использованию датчиков.

Цель и задачи исследования:

Целью данного исследования является анализ возможностей использования волоконно-оптических датчиков для диагностики состояния металлических и бетонных конструкций.

Задачи включают в себя:

Обзор существующей литературы по волоконно-оптическим сенсорным технологиям и их применению в мониторинге состояния конструкций.

Выявление ключевых проблем и ограничений текущего состояния технологии волоконно-оптических датчиков.

Исследование методологий интеграции оптоволоконных датчиков в существующие системы мониторинга конструкций.

Оценка эффективности оптоволоконных датчиков в предоставлении данных в режиме реального времени о структурной целостности и работоспособности.

Материалы и методы

Методология исследования включает обзор литературы, численное моделирование, лабораторные эксперименты и полевые испытания для анализа возможностей использования волоконно-оптических датчиков в диагностике состояния металлических и бетонных конструкций. В ходе литературного обзора изучались существующие теории и методы, экспериментальные исследования проводились для проверки работы датчиков в различных условиях, а численное моделирование позволило предсказать их поведение.

Использовались специализированные программы для обработки данных и статистический анализ для оценки достоверности результатов. Датчики демонстрируют высокую чувствительность, устойчивость к электромагнитным помехам и суровым условиям, но остаются проблемы с интеграцией, калибровкой и интерпретацией данных.

Статья [1] исследует использование волоконных решеток Брага (ВБР) для измерения скорости деформации под воздействием импульсных механических действий. Исследование включает теоретическое моделирование и экспериментальные проверки, показывая высокую точность ВБР в измерении деформации материалов при импульсных нагрузках. ВБР сенсоры демонстрируют устойчивость к импульсным электромагнитным полям, что делает их полезными для определения

параметров механической деформации. В заключении отмечается необходимость дальнейших исследований и разработки сложных систем для повышения точности и расширения применимости этих сенсоров.

В статье [2] представлен комплексный подход к измерению параметров высокоскоростного нагружения с использованием тензорезисторов, волоконных брэгговских решеток (ВБР) и интерферометров. Исследование подтверждает, что численное моделирование точно описывает ударно-волновой процесс, обосновывая возможность использования различных датчиков для измерения относительной деформации при длительности импульсов 10–100 мкс. В нем подчеркивается важность согласования параметров датчика с напряженно-деформированным состоянием измерительного стержня и обсуждаются экспериментальные и теоретические пределы измерения параметров волны деформации, демонстрируя эффективность различных датчиков в условиях высокоскоростного нагружения.

[3] в этой статье обсуждается надежность и точность волоконно-оптических датчиков при обнаружении и оценке повреждений в металлических и бетонных конструкциях, представлены тематические исследования и экспериментальные данные, подтверждающие их эффективность. В статье объясняется точность оптоволоконных датчиков при количественной оценке степени и серьезности повреждений металлических и бетонных конструкций. Посредством сравнительного анализа с традиционными методами контроля и теоретическими моделями в статье делается попытка подтвердить точность оптоволоконных датчиков в определении размера, формы и распределения дефектов. Сопоставляя показания датчиков с достоверными данными, полученными в результате разрушающих испытаний или визуального осмотра, в статье делается попытка убедиться в точности и достоверности измерений оптоволоконных датчиков.

В статье [4] исследуются достижения в области волоконно-оптических датчиков для мониторинга состояния гражданской инфраструктуры. Подчеркивая такие преимущества, как небольшой размер, легкий вес, невосприимчивость к электромагнитным помехам и возможности встраивания, в статье рассматриваются различные типы волоконно-оптических датчиков, включая волоконную решетку Брэгга (ВБР) и

внешние интерферометрические датчики Фабри-Перо (ИДФП). В нем также обсуждаются инновации в методологиях зондирования и практическое применение при мониторинге мостов, зданий и других сооружений, подчеркивая роль технологии в оценке в реальном времени и обнаружении повреждений.

[5] в этой статье рассмотрены достижения в области SHM для железобетонных конструкций. Традиционные датчики, такие как электрические тензодатчики, акселерометры и датчики на основе GPS, хотя и точны, сталкиваются с проблемами в реальных приложениях из-за ограниченного количества точек оценки и суровых условий. Бетонные конструкции создают дополнительные трудности из-за неоднородного состава и подверженности различным процессам деградации. В документе подчеркивается, что волоконно-оптическая технология (FO) является идеальным решением для SHM благодаря ее высокой чувствительности, долговечности и стабильности на больших длинах измерений. В нем подробно описаны принципы обнаружения оптоволоконных датчиков и представлен современный обзор приложений SHM с использованием волоконно-оптических датчиков в бетонных конструкциях.

[6] в данной статье проводится критический анализ проблем и ограничений, связанных с использованием оптоволоконных датчиков при диагностике состояния металлических и бетонных конструкций. Он сталкивается с такими проблемами, как надежность, долговечность и экономическая эффективность датчиков, которые создают серьезные препятствия для широкого внедрения и внедрения технологии оптоволоконных датчиков в приложениях для мониторинга состояния конструкций. Посредством эмпирических исследований и теоретического анализа в статье раскрываются факторы, влияющие на производительность и надежность датчиков, начиная от условий окружающей среды и методов установки и заканчивая калибровкой датчиков и методологиями обработки сигналов. Признавая эти проблемы и решая их напрямую, статья прокладывает путь к разработке надежных сенсорных решений и передовых методов, которые уменьшают потенциальные источники неопределенности и ошибок в мониторинге состояния конструкций.

Статья [7] представляет результаты годичной кампании мониторинга состояния конструкций (SHM) на бетонном мосту с использованием

портативного прототипа прибора, основанного на вынужденном рассеянии Бриллюэна. В исследовании подчеркивается использование волоконно-оптических датчиков, которые обеспечивают распределенные измерения деформации с пространственным разрешением 1 метр. Датчики обнаружили трещину в мосту, продемонстрировав эффективность этой технологии в выявлении структурных проблем. В документе подчеркиваются преимущества распределенных волоконно-оптических датчиков перед традиционными точечными датчиками, включая экономическую эффективность, устойчивость к условиям окружающей среды и возможность долгосрочного мониторинга.

В статье [8] обсуждаются значительные достижения и применение волоконно-оптических датчиков (ВОД) для обнаружения трещин в бетонных конструкциях. Подчеркивая их преимущества перед традиционными датчиками, такие как невосприимчивость к электромагнитным помехам, высокая чувствительность и надежность в агрессивных средах, исследование подчеркивает растущую проблему разрушения бетонной конструкции. В нем представлен всесторонний обзор последних исследований и прогресса в использовании ВОД для точного обнаружения трещин, сравниваются различные методологии. Кроме того, в документе определяются области, нуждающиеся в улучшении, и оценивается совместимость и устойчивость новейших технологий ВОД в обнаружении повреждений, подчеркивая их потенциал для улучшения долгосрочного мониторинга и обслуживания конкретной инфраструктуры.

[9] В статье исследуется растущее использование чирпированных волоконных брэгговских решеток (ЧВБР) в экспериментах по определению скорости детонации за последнее десятилетие. В нем исследуется влияние параметров конструкции ЧВБР - скорости чирпа, отражательной способности и аподизации - на линейность измерений скорости детонации. В исследовании делается вывод, что оптимальный зонд скорости детонации ЧВБР должен иметь высокую частоту чирпа, низкую отражательную способность и отсутствие аподизации. Чтобы подтвердить эти выводы, исследователи провели измерения скорости детонации с использованием оптимизированного ЧВБР длиной 24 см, что стало самым продолжительным испытанием ЧВБР такого рода на сегодняшний день. Это исследование подчеркивает потенциал повышения точности и

эффективности экспериментов по детонации с использованием оптимизированных ЧВБР.

В статье [10] рассматриваются проблемы дистанционного зондирования с высоким разрешением, вызванные деформацией крыла из-за внешнего потока и внутренних вибраций двигателя, которые традиционные методы компенсации ошибок с жесткой базовой линией не могут исправить. Он предлагает модель переноса выравнивания с использованием волоконной брэгговской решетки (ВБР) для систем распределенного положения и ориентации. Этот подход включает в себя разработку схемы ВБР для сбора многомерных данных о деформации, подбор измеренной деформации для получения непрерывной деформации на поверхности крыла и расчет смещения и угла деформации. Уравнение состояния, учитывающее ошибки положения и скорости, угол смещения и ошибку инерционного устройства, повышает точность измерений за счет оценки фильтрации. Результаты экспериментов демонстрируют значительное улучшение точности выравнивания переноса.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности волоконно-оптических датчиков при диагностике состояния металлических и бетонных конструкций. Численное моделирование демонстрирует точность и надежность оптоволоконных датчиков при измерении различных параметров, таких как деформация, температура и давление. Лабораторные эксперименты и полевые испытания еще раз подтверждают практическую полезность волоконно-оптических датчиков для мониторинга состояния конструкций.



Рисунок 1 – Экспериментальная установка для определения деформаций на поверхности бетонных конструкций

Симуляция механических волн в одномерном стержне была проведена с использованием метода Хопкинсона в программном обеспечении ANSYS AutoDyn. В центре алюминиевого стержня размерами 1000x10x10 мм расположены фенольная подложка датчика деформации размером 5x6x0.1 мм и полоска кварцевого стекла FBG размером 10x0.1x0.1 мм, прикреплённые к стержню слоем клея толщиной 0.1 мм. Характеристики материалов были заданы следующим образом:

Алюминиевый стержень: модуль Юнга 71 ГПа, коэффициент Пуассона 0.33 и плотность 2770 кг/м³.

Фенольная подложка датчика деформации: модуль Юнга 32 ГПа, коэффициент Пуассона 0.3 и плотность 1800 кг/м³.

Кварцевое стекло FBG: модуль Юнга 73 ГПа, коэффициент Пуассона 0.2 и плотность 2200 кг/м³.

Клей: модуль Юнга варьируется от 0.15 до 15 ГПа, коэффициент Пуассона 0.3 и плотность 1000 кг/м³.

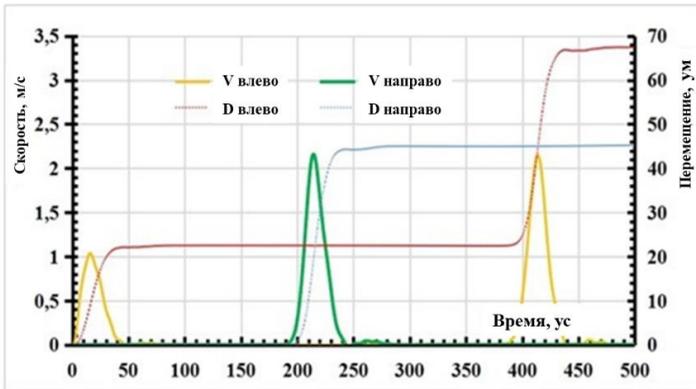


Рисунок 2 – Распределение относительных деформации по поверхностям тензорезистора и брэгговской решетки

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что относительные деформации по поверхности тензорезистора и брэгговской решетки распределены неравномерно. На степень этого неравномерного распределения влияют такие факторы, как модуль упругости и геометрические размеры тензорезистора, брэгговской решетки и клеевого слоя. Однако расчеты показывают, что при модуле упругости клеевого слоя 1,5 ГПа относительные деформации в центре как тензорезистора, так и брэгговской решетки совпадают с деформациями на поверхности стержня как по амплитуде, так и по форме импульса (см. рис. 3).

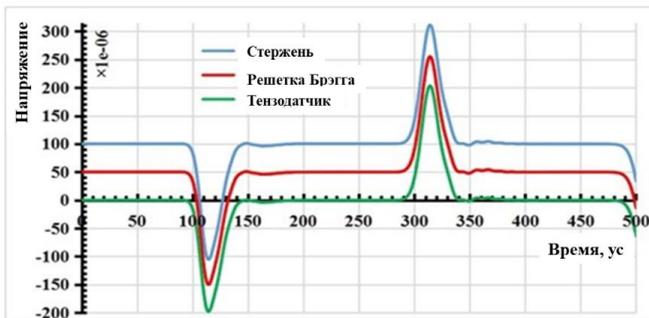


Рисунок 3 – Изменение относительных деформации со временем в центре тензодатчика

На рисунке 3 показано, как относительные деформации изменяются со временем в центре тензодатчика, брэгговской решетки и стержня, при этом каждый сигнал регулируется на $\varepsilon = 50 \cdot 10^{-6}$ относительно друг друга. Понижение модуля упругости клеевого слоя увеличивает неравномерность распределения относительных деформаций внутри брэгговской решетки и тензорезистора. В частности, снижение модуля упругости до 0,15 кПа в брэгговской решетке диаметром 10 мм приводит к двукратному уменьшению относительных деформаций в ее центре и увеличению неоднородности распределения. Результаты моделирования также показывают, что увеличение длины склеенного участка волокна до 100 мм при сохранении брэгговской решетки на уровне 10 мм приводит к более равномерному распределению относительных деформаций внутри области брэгговской решетки, численно совпадающих с деформациями на поверхности стержня.

Результаты исследования по использованию волоконно-оптических датчиков для диагностики металлических и бетонных конструкций значимы для инфраструктуры и технической диагностики. Основные результаты включают:

Высокая чувствительность и точность: Датчики обнаруживают мельчайшие изменения в структуре конструкций, что позволяет выявлять потенциальные проблемы на ранних стадиях.

Долговечность и устойчивость: Датчики устойчивы к влажности, коррозии и ультрафиолетовому излучению, обеспечивая надежную работу в агрессивных условиях.

Дистанционный мониторинг: Датчики позволяют контролировать состояние крупных объектов, таких как мосты и здания, удаленно, что способствует оперативному реагированию на проблемы.

Экономическая выгода: Раннее выявление проблем и своевременное обслуживание снижают затраты на ремонт и предотвращают потенциальные ущербы.

Перспективы развития: Необходимы дальнейшие исследования для улучшения методов обработки данных и разработки новых типов датчиков с расширенным функционалом.

Волоконно-оптические датчики подтверждают свою перспективность для мониторинга состояния конструкций, обеспечивая безопасность и надежность инфраструктуры, а также оптимизацию процессов технического обслуживания. Однако остаются задачи по калибровке датчиков, интерпретации данных и экономической эффективности, которые необходимо решить для полного раскрытия их потенциала.

Выводы

В заключение можно сказать, что оптоволоконные датчики представляют собой перспективное решение для диагностики состояния металлических и бетонных конструкций. Результаты исследования демонстрируют эффективность этих датчиков в предоставлении данных в режиме реального времени, обеспечивая профилактическое обслуживание и повышая безопасность и долговечность инфраструктурных объектов.

Волоконно-оптические датчики обладают рядом преимуществ перед традиционными методами мониторинга, включая высокую чувствительность, невосприимчивость к электромагнитным помехам и способность работать в суровых условиях. Эти датчики успешно применяются для мониторинга мостов, зданий, трубопроводов и туннелей, обеспечивая непрерывный контроль и раннее обнаружение структурных проблем.

Однако для полного раскрытия потенциала волоконно-оптических датчиков необходимо решить ряд проблем, таких как интеграция, калибровка и экономическая эффективность. Будущие исследования и разработки должны быть направлены на повышение точности, надежности и долговечности этих датчиков, а также на разработку стандартизированных протоколов для их развертывания и интерпретации данных.

Анализ возможностей использования волоконно-оптических датчиков подчеркивает значительные достижения и потенциал этой технологии в мониторинге состояния конструкций. Продолжающиеся исследования и инновации могут существенно улучшить практику структурного мониторинга, обеспечивая безопасность и долговечность инфраструктурных активов на долгие годы вперед.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Kiesewetter D. et al.** Application of Fiber Bragg Gratings as a Sensor of Pulsed Mechanical Action //Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 19. – С. 7289. <https://doi.org/10.3390/s22197289>

2 **Smailov N. et al.** Numerical Simulation and Measurement of Deformation Wave Parameters by Sensors of Various Types //Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 22. – С. 9215. <https://doi.org/10.3390/s23229215>

3 **Glišić B. et al.** Damage detection and characterization using long-gauge and distributed fiber optic sensors //Optical Engineering. – 2013. – Т. 52. – №. 8. – С. 087101-087101. [DOI:10.1117/1.OE.52.8.087101](https://doi.org/10.1117/1.OE.52.8.087101)

4 **Ye X. W. et al.** Structural health monitoring of civil infrastructure using optical fiber sensing technology: A comprehensive review //The Scientific World Journal. – 2014. – Т. 2014. [DOI:10.1155/2014/652329](https://doi.org/10.1155/2014/652329)

5 **Sakiyama F. I. H., Lehmann F., Garrecht H.** Structural health monitoring of concrete structures using fibre-optic-based sensors: A review //Magazine of concrete research. – 2021. – Т. 73. – №. 4. – С. 174-194. <https://doi.org/10.1680/jmacr.19.00185>

6 **Singh B. P., Singh T., Narwade R.** Recent Progress of Fibre Optic Sensors for the Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure //Sensors and Fiber Optics: Recent Trends. – 2022. – С. 61.

7 **Minardo A. et al.** Long term structural health monitoring by Brillouin fibre-optic sensing: A real case //Journal of Geophysics and Engineering. – 2012. – Т. 9. – №. 4. – С. S64-S69. [DOI:10.1088/1742-2132/9/4/S64](https://doi.org/10.1088/1742-2132/9/4/S64)

8 **Afzal M. H. B., Kabir S., Sidek O.** An in-depth review: Structural health monitoring using fiber optic sensor //IETE Technical Review. – 2012. – Т. 29. – №. 2. – С. 105-113. [DOI:10.4103/0256-4602.95383](https://doi.org/10.4103/0256-4602.95383)

9 **Pooley J. et al.** Optimised Chirped Fibre Bragg Gratings for Detonation Velocity Measurements //Sensors. – 2019. – Т. 19. – №. 15. – С. 3333. <https://doi.org/10.3390/s19153333>

10 **Ye W., Gu B., Wang Y.** Airborne distributed position and orientation system transfer alignment method based on fiber bragg grating // Sensors. – 2020. – Т. 20. – №. 7. – С. 2120. <https://doi.org/10.3390/s20072120>

**Н.Қ. Смайлов¹, С.Ж. Көшкінбаев², Е.Таштай¹, М.Н. Жекамбаева¹,
А. Ә. Әмір¹*

¹Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы

²Мирас университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент қаласы

МЕТАЛЛ-БЕТОН ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫН ДИАГНОСТИКА ҮШІН ТАЛШЫҚ-ОПТИКАЛЫҚ ДАТТЫРЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ МҮМКІНДІКТЕРІН ТАЛДАУ

Мақалада металл және бетон конструкцияларының күйін диагностикалау үшін талшықты-оптикалық сенсорларды пайдалану мүмкіндіктері қарастырылады. Талшықты-оптикалық сенсорлар жоғары сезімталдыққа, электромагниттік кедергілерге қарсы иммунитетке және қоршаған ортаның қатал жағдайларына төзімділігіне байланысты назар аударады. Зерттеу осы сенсорларды қолданумен байланысты бар әдебиеттерді, әдістемелерді және қиындықтарды жан-жақты талдауды қамтиды. Авторлар болжамды қызмет көрсетуге және инфрақұрылымдық активтердің қауіпсіздігін арттыруға ықпал ететін құрылымдық тұтастық туралы нақты уақыттағы деректерді берудегі олардың тиімділігін атап көрсетеді.

Мақалада көпір деформациясын бақылау, құбырлардағы ағып кетуді анықтау және ғимараттардағы жарықтарды бақылау сияқты талшықты-оптикалық сенсорларды сәтті қолдану мысалдары келтірілген. Ағымдағы зерттеулер сенсордың дәлдігін жақсарту, жаңа конфигурациялар мен деректерді талдау әдістерін өзірлеу және деректерді өңдеуді жақсарту үшін жасанды интеллект және машиналық оқыту алгоритмдерімен біріктіру үшін қаралады.

Авторлар қиындықтар мен шектеулерді, соның ішінде сенсордың сенімділігін, орнату қиындықтарын және үнемділігін, сондай-ақ орналастыру протоколдары мен деректерді интерпретациялауды стандарттау қажеттілігін талқылайды. Ол

болашақ зерттеулерге арналған ұсыныстармен және талшықты-оптикалық сенсор технологиясын жақсарту мүмкіндіктерімен, соның ішінде академия, өнеркәсіп және мемлекеттік органдар арасындағы ынтымақтастықты арттырумен аяқталады.

Кілтті сөздер: талшықты-оптикалық датчиктер, жоғары жылдамдықты деформациялар, бетон конструкциялары, импульстік әрекет, оптикалық деформация датчигі.

*N. K. Smailov¹, S.Zh. Koshkinbaev², Y. Tashtay¹, M. N. Zhekambaeva¹,
A. A. Amir¹

¹Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty city

²Miras University, Republic of Kazakhstan, Shymkent city

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING FIBER OPTICAL SENSORS FOR DIAGNOSTICS OF THE CONDITION OF METAL AND CONCRETE STRUCTURES

The article discusses the possibilities of using fiber-optic sensors to diagnose the condition of metal and concrete structures. Fiber optic sensors are gaining attention due to their high sensitivity, immunity to electromagnetic interference, and resistance to harsh environmental conditions. The study includes a comprehensive analysis of existing literature, methodologies, and challenges associated with the application of these sensors. The authors highlight their effectiveness in providing real-time data on structural integrity, which promotes predictive maintenance and improved safety of infrastructure assets.

The article presents examples of successful applications of fiber optic sensors, such as monitoring bridge deformations, detecting leaks in pipelines, and monitoring cracks in buildings. Current research is reviewed to improve sensor accuracy, develop new configurations and data analysis methods, and integrate with artificial intelligence and machine learning algorithms to improve data processing.

The authors discuss challenges and limitations, including sensor reliability, installation challenges, and cost-effectiveness, as well as the

need to standardize deployment protocols and data interpretation. It concludes with recommendations for future research and opportunities to improve fiber optic sensor technology, including increased collaboration between academia, industry, and government agencies.

Key words: fiber-optic sensors, high-speed deformations, concrete structures, pulse action, optical deformation sensor.

SRSTI 73.31.75

**B. T. Tazhakhmetov¹, T. K. Balgabekov², *Sh. Zh. Zharassov³,
A. K. Aldungarova⁴, I. P. Menendez⁵**

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

⁴S. Sadvakasov Agrotechnical Institute, Shokan Ualikhanov Kokshetau
University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan

⁵Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Kingdom of Spain

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6964-5663>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7603-0023>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9248-7180>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7053-1101>

*e-mail: zhshzh95@gmail.com

LINEAR PROGRAMMING FOR ALLOCATING TRANSPORTATION CAPACITIES IN FREIGHT PLANNING

Effective allocation of transport capacities is vital for motor transport enterprises engaged in freight transportation. As the demand for goods transportation rises, optimizing resource utilization becomes essential for ensuring timely deliveries, minimizing costs, and enhancing overall operational efficiency. Linear programming, a powerful tool in mathematical optimization, plays a key role in facilitating the rational distribution of limited resources. By framing the allocation problem as a linear program, enterprises can systematically identify the optimal use of their transport capacities, taking into account critical factors such as vehicle availability, delivery schedules, and associated costs. In the realm of operational planning, linear programming offers a structured and

analytical approach to addressing the complexities inherent in freight transportation. This study delves into both the theoretical underpinnings and the practical applications of linear programming, showcasing its potential to significantly improve resource allocation strategies, boost efficiency, and reduce operational costs. Through the analysis of real-world examples and empirical data, the study provides valuable insights that can aid practitioners and researchers alike in refining logistics optimization practices, ultimately contributing to more efficient and cost-effective freight transport operations.

Keywords: linear programming, transportation capacities, operational planning, freight transportation, resource optimization.

Introduction

Efficient allocation of transportation capacity is critical for road transport companies involved in freight logistics. As global trade and domestic logistics networks expand, the demand for timely and efficient transportation services is increasing. This requires strategic use of resources to meet delivery schedules, minimize costs and improve operational efficiency. Increased fuel consumption and vehicle emissions such as carbon monoxide and particulate matter not only contribute to pollution but also increase the cost of transportation.

State departments of transportation issue permits for oversized vehicles and manage restrictions such as varying road widths, inappropriate curves, weight restricted bridges, and low underpasses. Paper [1, p. 333] introduces a method to identify maximum-capacity paths with length constraints, using a linear-integer programming model and an arc-elimination procedure. This method optimizes routes with weight, width, and height restrictions, demonstrated to be efficient in route selection within the Tennessee highway network.

Study [2, p. 301] addresses challenges in truck-sharing, focusing on how it can expand transport capacity, reduce carbon emissions, and alleviate congestion. An exploratory qualitative approach reveals technical issues and external constraints, such as driving restrictions and seaport operating hours, but also emphasizes the importance of trust and coordination among carriers. The study suggests increasing hinterland transport capacity by utilizing idle truck slots and effectively managing truck-sharing challenges.

Article [3, p. 194] proposes a method to find maximal-capacity paths with length constraints, transforming networks to exclude excessively long routes. This method uses a modified depth-first search algorithm to improve route optimization.

Paper [4, p. 04023135] presents a multimodal transportation-as-a-service (MMTaaS) framework for personalized travel planning. The framework includes multimodal path planning, traveler-specific itineraries, and personalized recommendations, validated through a case study in Jiaying City, China.

Article [5, p. 10576] explores advancements in enterprise information management with big data, proposing a short-term prediction model for bus passenger flow using a combined Stacked Denoising Autoencoder (SDAE) and bidirectional Long-Short Term Memory network (Bi-LSTM), showing improved accuracy in predictions.

Study [6, p. 78] investigates upstream supply chain issues in the logging industry, combining a literature review with case studies in Mississippi to develop a framework categorizing logistical challenges.

Efficient last-km delivery management is addressed in study [7, p. 124559], which introduces a Decision Support System (DSS) for optimizing driver sectors and routes using a Preference-Inspired Co-Evolutionary Algorithm with Goal vectors using Mating Restriction (PICEA-g-mr).

Finally, the study [8] solves the vehicle routing problem with limited capacity by using a hybrid whale optimization algorithm (hGWOA), which demonstrates superior performance in optimizing delivery distances using real-world examples in Vietnam. One of the most effective methods to solve this problem is linear programming (LP).

Linear Programming (LP) is a mathematical optimization technique used in all industries, including transportation, to aid in decision making by maximizing or minimizing a linear function under linear constraints. In transportation, LP optimizes the allocation of resources - vehicles, drivers, and fuel - resulting in cost savings, improved service, and more efficient use of resources [9].

QazAvtoJol, a trucking company in Kazakhstan, is an example of the application of LP in transportation logistics. The company faced challenges in optimizing its freight transportation capacity, including scheduling, resource allocation and cost management. This study shows how LP can solve these problems with an adapted model that other transportation companies can use [10, p. 124194].

The LP model considers key resources such as number of trucks, routes, and delivery times, with constraints related to vehicle capacity and driver availability. The goal of the model is to minimize operating costs while meeting these constraints. Implementation involves data collection, model formulation, and analysis of the results using tools such as LINGO to allow for optimal resource allocation and informed decision making. The study highlights the effectiveness of linear programming in optimizing transportation capacity, as evidenced by QazAvtoJol's efficiency gains and cost reductions. As demand for freight transportation increases, LP will be critical to maintain competitiveness and operational excellence. This study shows how LP can improve operational efficiency in real-world scenarios, providing a useful framework for similar businesses.

Materials and methods

This study used LINGO software, a comprehensive optimization tool designed to develop and solve a variety of optimization models, including linear, nonlinear (convex and nonconvex/global), quadratic, quadratically constrained, second-order cone, semidefinite, stochastic, and integer optimization models. LINGO combines a powerful modeling language with a robust environment for constructing and editing problems, as well as a set of efficient built-in solvers. The latest version, LINGO 21, contains significant improvements and new features.

JSC NC KazAutoJol, a company from Kazakhstan, provided practical transportation-related issues that served as the basis for the application of LINGO in this study. The company faced serious challenges in optimizing its transportation logistics, making it a relevant example of applying LINGO capabilities.

LINGO greatly accelerates development by allowing linear, nonlinear, and integer problems to be quickly formulated in a clear, easy-to-read format. Its modeling language supports intuitive expressions using sums and substring variables similar to traditional methods, making it easy to build and maintain models. LINGO utilizes multiple processor cores for faster model building and integrates seamlessly with databases and spreadsheets for efficient data management and reporting. LINGO has many fast built-in solvers that are automatically selected based on the model. Users can interactively build and solve models in the comprehensive LINGO environment with support for integration through DLL and OLE interfaces, and call it from Excel or database applications.

Detailed documentation and support tools, including a user manual and “Optimization Modeling with LINGO”, facilitate quick learning of the program.

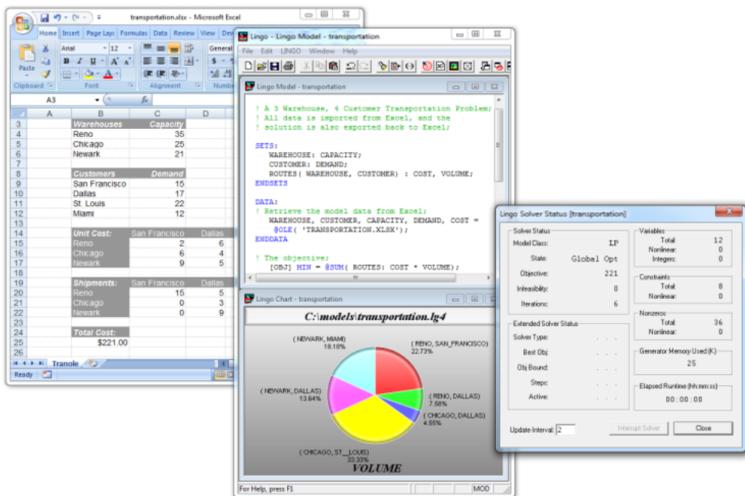


Figure 1 – LINGO software

Results and discussion

This example will illustrate the application of integer linear programming (ILP) to routing problems.

QazAvtoJol provides a specialized delivery service, connecting a starting point to six other cities in a four-state region. Upon receiving a request for service, QazAvtoJol dispatches a truck from the starting point to the city that requests service at the earliest opportunity (Figure 2).

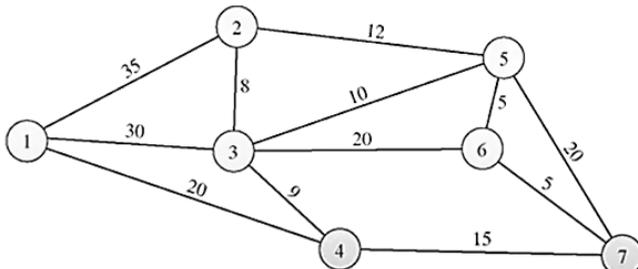


Figure 2 – Delivery service road map

When optimizing logistics for QazAvtoJol company, the main objective is to provide fast service while minimizing transportation costs. To achieve this goal, it is necessary to find the shortest route from the starting point (node 1) to the required destination (node 6) in a road network represented as a graph. The distances between the nodes are known, and the problem is to find the optimal path that minimizes the total distance.

This problem, although complex due to the scale of the graph, is essentially a shortest path problem. It can be solved using algorithms like Dijkstra or A*, which are designed for such scenarios. This problem is a decision making problem under certainty, since all distances are precisely known.

Initially, two potential paths are considered: the first path runs from node 1 to node 3, then from node 3 to node 6. The second path runs from node 1 to node 2, then from node 2 to node 3, and finally from node 3 to node 6. The first path includes segments (1, 3) and (3, 6) and the second path includes segments (1, 2), (2, 3) and (3, 6), adding an additional segment.

To formulate this problem in the framework of linear programming, we define binary decision variables x_{ij} , where x_{ij} is 1 if segment (i, j) is part of the optimal path, and 0 otherwise. The problem is to minimize the total distance, which involves computing and comparing the total distances of all potential paths.

By evaluating these paths and using optimization techniques, the most efficient route from node 1 to node 6 can be determined, which will effectively minimize the travel distance.

Table 1 – Decision variables

№	Xij = 1 if the path starting at node I and ending at node j is selected; = 0 if not selected;		
1	@BIN (X12);	@BIN (X34);	@BIN (X56);
2	@BIN (X13);	@BIN (X35);	@BIN (X57);
3	@BIN (X14);	@BIN (X36);	@BIN (X74);
4	@BIN (X23);	@BIN (X43);	@BIN (X75);
5	@BIN (X25);	@BIN (X47);	@BIN (X76);
6	@BIN (X32);	@BIN (X53);	@BIN (X52);

To solve the path optimization problem, it is necessary to consider all the line segments present in the graph. Each potential path through the network includes a combination of these segments. In this context, each line segment is assigned a binary decision variable indicating its inclusion or exclusion from a given path.

Specifically, if the path passes through a particular line segment, the corresponding decision variable is assigned a value of 1. Conversely, if the path does not include that line segment, the variable is assigned a value of 0. This binary assignment effectively reflects whether each line segment is part of the optimal path.

Given the complexity of a network with many line segments, this approach requires considering all possible segments. For example, let us denote the line segment between nodes (1, 2) as X12. If the path being evaluated passes through this segment, X12 will be assigned the value 1. If the path does not pass through this segment, X12 will be assigned the value 0 (Fig. 3).

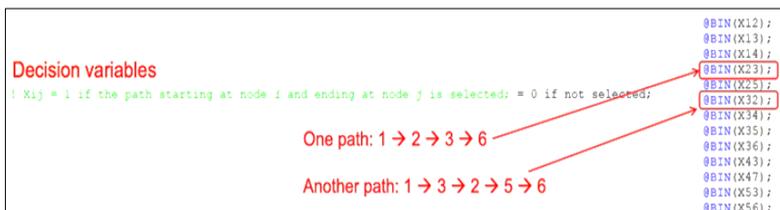


Figure 3 – Decision variables in LINGO software

In transportation route optimization, the decision variables X_{ij} are classified as binary variables, i.e., they can only take the values 1 or 0. This binary character is crucial because it simplifies the problem formulation within the linear programming framework. Each variable X_{ij} indicates whether a line segment (i, j) is included in the route (1) or not (0). By systematically applying these binary variables to all line segments, the problem of finding the shortest route to minimize the travel distance can be efficiently modeled and solved.

When using LINGO to define these decision variables, the @BIN function must be used and each line of code must end with a semicolon. This syntax ensures that the variables are correctly recognized as binary, which is very important to accurately model the inclusion or exclusion of line segments during the optimization process

In addition, it is important to consider line segments such as (2, 3) and (3, 2) as separate entities because of their directional nature. For example, one route may run from node 1 to node 2, then to node 3 and finally to node 6, while another route may run from node 1 to node 3, then to node 2, and then to node 5 before reaching node 6. In order to accurately model the routes, the directionality of these segments must be taken into account.

Moreover, line segments that terminate at node 1 should be excluded from consideration. Since node 1 is the starting point, any segment ending here would mean returning to the starting point, which is inefficient. Similarly, segments starting at node 6 should be excluded, since node 6 is the final destination, and including such segments would mean an unnecessary departure from the end point.

Following these guidelines – correctly defining the binary variables, respecting the directionality of the segments, and excluding inefficient paths - allows the problem to be modeled accurately. This approach ensures that the most efficient path minimizing the total travel distance is determined while respecting the constraints of the problem (Figure 4).

$$\begin{aligned} \text{MIN} = & 35 \cdot X_{12} + 30 \cdot X_{13} + 20 \cdot X_{14} + 8 \cdot X_{23} + 12 \cdot X_{25} + 8 \cdot X_{32} + 9 \cdot X_{34} + \\ & 10 \cdot X_{35} + 20 \cdot X_{36} + 9 \cdot X_{43} + 15 \cdot X_{47} + 10 \cdot X_{53} + 5 \cdot X_{56} + 20 \cdot X_{57} + \\ & 15 \cdot X_{74} + 20 \cdot X_{75} + 5 \cdot X_{76} + 12 \cdot X_{52}; \end{aligned}$$

Figure 4 – Traveled total distance

The main objective of this optimization problem is to minimize the total distance traveled. Each line segment in the network has a known distance associated with it. For example, the distance from the starting point (node 1) to node 2 is 35 km. If we include the line segment (1, 2) in the optimal path, the corresponding decision variable X_{12} will be set to 1. This inclusion will add 35 km to the total travel distance, which is $35 \times X_{12}$ to the total distance.

Similarly, if the segment (2, 3) is part of the path, it contributes an additional distance of 8 km to the total travel distance. Thus, the term $8 \times X_{23}$ represents this contribution. To compute the total distance traveled, we sum the

contributions from all included line segments, each weighted by its respective distance. This summation of products distance $ij \times X_{ij}$ across all line segments gives the total travel distance.

The optimization problem is then formulated as minimizing this sum of distances. In LINGO, this is achieved using the MIN function to specify that the goal is to minimize the total distance.

Next, we need to consider the constraints that will ensure the validity of the solution. These constraints will be essential for ensuring that the path is feasible and adheres to the problem's requirements (Table 2).

Table 2 – Shortest Path

№	Constraints
1	$X_{12}+X_{13}+X_{14}=1$
2	$X_{23}+X_{25}=X_{12}+X_{32}+X_{52}$
3	$X_{32}+X_{34}+X_{35}+X_{36}=X_{13}+X_{23}+X_{43}+X_{53}$
4	$X_{43}+X_{47}=X_{14}+X_{34}+X_{74}$
5	$X_{52}+X_{53}+X_{56}+X_{57}=X_{25}+X_{35}+X_{75}$
6	$X_{36}+X_{56}+X_{76}=1$
7	$X_{74}+X_{75}+X_{76}=X_{47}+X_{57}$

At Node 1, which represents Initial point, it is imperative to ensure that the truck departs from this node. There are three possible outgoing line segments from Initial point: (1, 2), (1, 3), and (1, 4). To formalize this requirement, we need to guarantee that at least one of these segments is used. This can be enforced using a conditional constraint that stipulates the sum of the decision variables X_{12} , X_{13} , and X_{14} must equal 1.

Similarly, for Node 2, the path's interaction with this node must be considered. If the path includes Node 2, it must both arrive at and depart from this node. The arrival at Node 2 can occur via segments (1, 2), (3, 2), or (5, 2). The departure from Node 2 can be via segments (2, 3) or (2, 5). To enforce this, we establish two constraints:

If the truck departs from Node 2, represented by $X_{23}+X_{25}=1$, then it must have arrived at Node 2, ensuring that $X_{12}+X_{32}+X_{52}=1$;

Conversely, if the truck does not pass through Node 2, $X_{23}+X_{25}=0$, then no arrivals should occur at Node 2, requiring $X_{12}+X_{32}+X_{52}=0$.

Applying this logic to all nodes in the network will result in a total of 7 constraints, each ensuring the correct flow of the path through each node. These constraints ensure that the inclusion or exclusion of each node is properly accounted for in the optimization model.

The complete LINGO model including these constraints and the objective function for minimizing the total trip distance is presented for further study (Figure 5 a).

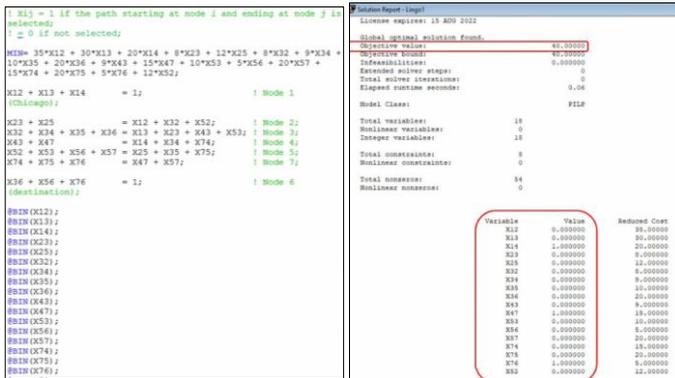


Figure 5 – Data: a – input model to LINGO, b – optimal strategy

The optimal routing solution (Fig. 5 b) for a freight company involves traveling from a starting point (node 1) to node 4, then to node 7 and finally to node 6. This particular path was determined to be the shortest among all possible alternatives with a total distance of 40 km.

It is important to note that the graph used in this analysis was not drawn to scale, making it much more difficult to visually determine the shortest path. Due to the lack of proportional representation of distances on the graph, determining the shortest path by visual inspection alone would be very difficult and unreliable.

In practice, the determination of the best path is not achieved by visual inspection but by algorithmic methods. Such methods provide an accurate computation of the shortest path by systematically evaluating all possible routes based on their respective distances, which ultimately leads to the determination of the route with the minimum total distance.

Conclusions

Advanced optimization algorithms and methods, such as the hybrid whale optimization algorithm and decision support system (DSS), are presented for solving last kilometer delivery and vehicle routing problems. The case study of QazAvtoJol demonstrates the practical utility of linear programming for optimizing resource allocation and cost management. The study highlights the value of advanced optimization tools and strategies to meet the changing needs of the transportation industry, offering frameworks and methodologies to improve operational efficiency, cost reduction, and environmental sustainability. Future research can explore innovative optimization techniques, expand truck-sharing practices, and improve multimodal systems to address emerging transportation challenges.

REFERENCES

- 1 **Zhu, X., Garcia-Diaz, A., Jin, M., Zhang, Y.** Vehicle fuel consumption minimization in routing over-dimensioned and overweight trucks in capacitated transportation networks : Journal of Cleaner Production. — 2014. — Vol. 85. — P. 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.036>
- 2 **Islam, S., Olsen, T.** Truck-sharing challenges for hinterland trucking companies: A case of the empty container truck trips problem : Business Process Management Journal. — 2014. — Vol. 20, No. 2. — P. 290–334. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2013-0042>
- 3 **Garcia-Diaz, A., Balestrassi, P.P., Dhanabalan, K.** Optimal procedures to route over-dimensioned and overweight trucks in a highway-bridge network : Journal. — 2011. — Vol. 85. — P. 181–226.
- 4 **Zhang, Q., Zhou, Z., Han, X., Li, Y., Jia, Z.** A Recommender for Personalized Travel Planning Using Stacked Autoencoder in a Multimodal Transportation Network : Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems. — 2024. — Vol. 150, No. 2. — P. 04023135. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-8067>
- 5 **Xian, L.; Tian; L.** Passenger flow prediction and management method of urban public transport based on SDAE model and improved Bi-LSTM neural network : Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. — 2023. — Vol. 45, No. 6. — P. 10563–10577. <https://doi.org/10.3233/JIFS-232979>

6 **Dogru, A.K., Elmadag, A.B., Gong, K., Travers, J.M., Meng, C.** Examination of upstream supply chain and logistics issues in the US logging industry : Transportation Journal. — 2024. — Vol. 63, No. 2. — P. 74–97. <https://doi.org/10.1002/tjo3.12009>

7 **Torres, G., Fontes, T., Rodrigues, A.M., Rocha, P., Ribeiro, J., Ferreira, J.S.** Many-objective sectorization for last-mile delivery optimization: A decision support system : Expert Systems with Applications. — 2024. — Vol. 255. — P. 124559. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124559>

8 **Pham, V.H.S., Nguyen, V.N., Nguyen Dang, N.T.** Hybrid whale optimization algorithm for enhanced routing of limited capacity vehicles in supply chain management : Scientific Reports. — 2024. — Vol. 14, No. 1. — P. 793. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51359-2>

9 **Tubagus, R.M., Sudradjat, S., Chaerani, D.** Mathematical Modeling on Integrated Vehicle Assignment and Rebalancing in Ride-hailing System with Uncertainty Using Fuzzy Linear Programming : Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology. — 2024. — Vol. 42, No. 2. — P. 133–144. <https://doi.org/10.37934/araset.42.2.133144>

10 **Zhuang, H., Deng, Q., Luo, Q., Zhao, Y., Zhang, J.** Modelling and optimization for integrated scheduling problem considering spare parts production, batch transportation and equipment operation : Expert Systems with Applications. — 2024. — Vol. 252. — P. 124194. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124194>

*Б. Т. Тажаметов¹, Т. К. Балгабеков², *Ш. Ж. Жарасов³,*

Ә. К. Алдунгарова⁴, И.П. Мэнэндас⁵

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы

³Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы

⁴С. Сәдуақасов атындағы Агротехникалық институт, Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы

⁵Мадрид политехникалық университеті, Мадрид қ., Испания Патшалығы

ЖҮК ТАСЫМАЛЫН ЖОСПАРЛАУ КЕЗІНДЕ КӨЛІК ҚУАТЫН БӨЛУГЕ АРНАЛҒАН СЫЗЫҚТЫҚ БАҒДАРЛАМАЛАУ

Көлік қуатын тиімді бөлу жүк тасымалдаумен айналысатын автокөлік кәсіпорындары үшін өте маңызды. Жүк тасымалына сұраныс артқан сайын ресурстарды пайдалануды оңтайландыру уақтылы жеткізуді қамтамасыз ету, шығындарды азайту және жұмыстың жалпы тиімділігін арттыру үшін қажет болады. Сызықтық бағдарламалау, қуатты математикалық оңтайландыру құралы, шектеулі ресурстарды ұтымды бөлуде шешуші рөл атқарады. Бөлу мәселесін сызықтық бағдарлама ретінде тұжырымдай отырып, кәсіпорындар көлік құралдарының болуы, жеткізу кестелері және байланысты шығындар сияқты маңызды факторларды ескере отырып, өздерінің көлік қуаттарын оңтайлы пайдалануды жүйелі түрде анықтай алады. Операциялық жоспарлау саласында сызықтық бағдарламалау жүк тасымалына тән күрделі мәселелерді шешуге құрылымдық және аналитикалық тәсілді ұсынады. Бұл зерттеу ресурстарды бөлу стратегияларын айтарлықтай жақсарту, тиімділікті арттыру және операциялық шығындарды азайту үшін оның әлеуетін көрсететін сызықтық бағдарламалаудың теориялық негіздерін де, практикалық қосымшаларын да қарастырады. Нақты мысалдар мен эмпирикалық деректерді талдау арқылы зерттеу тәжірибешілерге де, зерттеушілерге де логистиканы оңтайландыру әдістерін жетілдіруге көмектесетін құнды түсініктер береді, бұл сайып келгенде жүк тасымалының тиімділігі мен табыстылығын арттыруға ықпал етеді.

Кілтті сөздер: сызықтық бағдарламалау, тасымалдау мүмкіндіктері, жедел жоспарлау, жүк тасымалдау, ресурстарды оңтайландыру.

*Б. Т. Тажзахметов¹, Т.К. Балгабеков², *Ш.Ж. Жарасов³, А. К. Алдунгарова⁴,
И.П. Мэнэндас⁵*

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан

²Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

⁴Агротехнический институт им. С. Садвакасова, Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова, г. Кокшетау, Республика Казахстан

⁵Политехнический университет Мадрида, г. Мадрид, Королевство Испания

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Эффективное распределение транспортных мощностей жизненно важно для автотранспортных предприятий, занимающихся грузоперевозками. По мере роста спроса на грузоперевозки оптимизация использования ресурсов становится необходимой для обеспечения своевременных поставок, минимизации затрат и повышения общей эффективности работы. Линейное программирование, мощный инструмент математической оптимизации, играет ключевую роль в рациональном распределении ограниченных ресурсов. Сформулировав проблему распределения в виде линейной программы, предприятия могут систематически определять оптимальное использование своих транспортных мощностей, принимая во внимание такие важные факторы, как наличие транспортных средств, графики поставок и сопутствующие расходы. В сфере оперативного планирования линейное программирование предлагает структурированный и аналитический подход к решению сложных задач, присущих грузовым перевозкам. В данном исследовании рассматриваются как теоретические основы, так и практические приложения линейного программирования, демонстрирующие его потенциал для

значительного улучшения стратегий распределения ресурсов, повышения эффективности и снижения операционных затрат. Благодаря анализу реальных примеров и эмпирических данных в исследовании приводятся ценные сведения, которые могут помочь как практикам, так и исследователям в совершенствовании методов оптимизации логистики, что в конечном итоге будет способствовать повышению эффективности и рентабельности грузовых перевозок.

Ключевые слова: линейное программирование, провозные возможности, оперативное планирование, грузовые перевозки, оптимизация ресурсов.

***N. Yu. Taran¹, V. V. Kaverin², E. Zh. Sarsikejev³, V. V. Titkov⁴**

^{1,2}Abylkas Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

*³S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan,
Astana;*

*⁴Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Russian Federation,
Saint-Petersburg*

**e-mail: 1814n97@mail.ru*

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7852-714X>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6763-8688>

SYSTEM OF MONITORING THE DEGREE OF DESTRUCTION FROM ELECTROCHEMICAL CORROSION OF UNDERGROUND METAL ELEMENTS OF OVERHEAD POWER LINE SUPPORTS

In this article, the studies were carried out and the block diagram was developed for a system of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of underground metal fastening elements for overhead power line supports. The analysis of the causes of emergency shutdowns of overhead power lines in the CIS and the methods of assessing the consequences used in foreign countries are carried out. The studies were aimed at modernizing the unified power system of Kazakhstan, reducing emergency situations and increasing reliability of power supply to consumers. The article presents a diagram of the design solutions of the proposed monitoring system for the portal-type support mounting unit. One of the aspects was direct controlling the degree of destruction of the support fastening points located underground. The proposed system allows collecting and transmitting to the control center

the information of the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal fastening elements of portal-type supports.

Key words: *portal type supports, overhead power lines, power system safety, power system reliability, galvanic corrosion, U-bolt, monitoring system.*

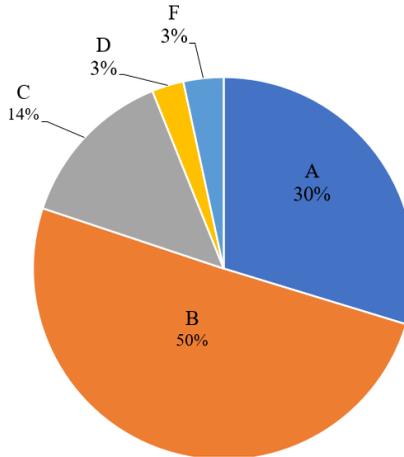
Introduction

In the course of overhead power lines (OHPLs) operation, unforeseen emergency situations arise that lead to outages. Each emergency shutdown is accompanied by large economic costs, automatic restrictions on the transmitted power to large consumers and switching overvoltages, which negatively affect the quality of electricity. In the world power history, there were large-scale blackouts with serious consequences. For the further development of the power industry of the Republic of Kazakhstan, it is necessary to take into account the experience and problems faced by power transmission organizations of foreign countries. Thus, scientists K.M. Jawadur Rahman, Maria Moosa Munnee, Shahriar Khan from the People's Republic of Bangladesh, in article [1] carried out the most complete analysis of major emergency shutdowns in the world that occurred from 1965 to 2015. The work used a formula for assessing damage during emergency shutdowns. The formula equally took into account the number of people injured and the time it took to recover from the consequences of the accident. According to this formula, the analysis of the scale of consequences and causes of emergency shutdowns was carried out. Most outages occurred due to natural weather conditions (hurricane, earthquake, snow storms). Weather conditions that have recently reached extreme values render a great impact on reliability of electricity transmission in the Republic of Kazakhstan. In severe weather conditions, the weak points of overhead power lines are susceptible to destruction.

Emergency outages of overhead power lines with voltage of 220 kV and higher, the length of which across the territory of the Republic of Kazakhstan is more than 26 thousand km, were analyzed by E. Bapin in work [3] based on the data from the power system operator.

Technical causes of emergency situations include damage to supports, insulator strings, linear fittings, cables, and wires. The main factor in damage to supports is corrosion of underground fastening elements. The STC FGC UES JSC carried out and provided the analysis of the damage causes to overhead

power lines in the CIS countries from 1997 to 2007. Figure 1 shows the ratio of damage caused by technical reasons [4].



*Figure 1 – Causes of emergency shutdowns in the CIS countries:
A – reducing the insulating properties of a string of insulators;
B – wire break; C – break of the lightning protection cable;
D – violation of the integrity of linear reinforcement;
E – violation of the integrity of linear reinforcement;
F – destruction of supports*

Most emergency shutdowns of overhead power lines in the CIS countries occur due to damage to insulators and wire breaks. In case of such damage, restoration work takes place in a short time. A different situation arises when the supports are damaged. The main causes of damage to portal-type supports are the destruction of metal fastening units. In these assemblies, the most vulnerable elements are the U-bolt and the metal loop. The destruction of these elements under the impact of electrochemical corrosion leads to the fall of the support. Since the overhead transmission line supports are interconnected, the fall of one support leads to the fall of groups of supports, which is accompanied by lengthy and costly restoration work.

At present, in the Republic of Kazakhstan, the main method of reducing emergency situations and assessing the technical condition of supports is, as a rule, the method of visual inspection of metal fastening elements of supports.

This method is used in accordance with the regulations, and planned openings of soil are carried out along the entire length of the overhead power line. These measures are carried out with long-term power outages in large industrial zones and as a result, incur large financial costs. During the excavation of the soil, it is revealed that a significant part of the support fastening elements is not subject to electrochemical corrosion.

It is normatively recommended to replace the support fastening unit when the cross-section is lost by 20% of the factory values. However, operating organizations replace the support fastening elements on all the overhead power lines at once.

In this regard, an urgent task is the diagnosis and timely identification of the overhead power lines sections that are most susceptible to electrochemical corrosion.

The degree of electrochemical corrosion of metal elements depends, as a rule, on the properties of the soil. The main ones are as follows: the soil type, the composition and concentration of salts, pH, humidity, differential aeration, the soil structure, the presence of bacteria in the soil, the soil temperature, electrical resistivity.

Previously, methods based on the magnetoplastics effect and ultrasonic flaw detection were used to assess the condition of the metal fastening elements of overhead power transmission line supports located underground. They made it possible to determine the complete structure of the metal and to identify the sections of the element that were most susceptible to corrosion. But to do this, the sensor must be directly applied to the element under study. Such measurements were highly accurate and made it possible to determine internal defects in the metal fastening elements of overhead power transmission poles [5].

The fastening points of overhead power transmission lines located underground are subject to surface and pitting corrosion. Consequently, the use of these methods to diagnose the condition of elements is not advisable, since it is necessary to open the soil, and internal corrosion is very rare.

At present, there are no automated systems of remote monitoring the current state of metal fastening elements for portal-type supports. The proposed system will make it possible to determine timely the unit susceptible to electrochemical corrosion and the degree of its destruction. This will allow replacing it in a timely manner, taking into account planned outages. Developing and studying the

system of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal fastening elements for overhead power line supports located underground is a science-intensive, technically complex and urgent task.

Materials and methods

The system of control and indication equipment in the field of high voltage electrical equipment is designed for continuous monitoring of the degree of the controlled object destruction and the residual life of metal elements subject to electrochemical corrosion when interacting with the ground, as well as taking into account the flow of induced currents through the controlled object.

There is a device for identifying the degree of corrosion damage, in particular, to the loops of anchor plates and U-shaped bolts of the underground anchor assembly of guy wires for overhead power transmission lines. There is a method of determining the corrosion state of metal elements of the anchor assembly of guy wires for supports, in which the loss of cross-sectional area of the elements under study is determined. It is compared with the standard value and based on the resulting difference, the degree of corrosion damage is judged, characterized in that the electrical resistivity of the soil is first measured in two mutually perpendicular directions near the anchor assembly. There are measured the electrode potentials of each U-shaped bolt relative to the copper-sulfate reference electrode, the induced currents in each guy support; there is determined the depth of immersion in the ground of the anchor plate loop and, according to the measurement data and according to the known calculation method, there is determined the loss of cross-sectional area of the metal elements [6].

The disadvantages of the device are include relatively low reliability of the results, the inability to monitor automatically changes in the degree of destruction from electrochemical corrosion over time, and the absence of the data transmission system to the control center.

At the Federal State Educational Institution of Higher Vocational Education "Novosibirsk State Academy of Water Transport", Novosibirsk, studies were carried out and a device was developed for measuring corrosion by the surface electromagnetic wave method. The method uses a microwave signal generator of tunable frequency; generator and indicator communication elements, a microwave power detector characterized in that it additionally contains a power divider connected to the output of the generator; a switch, the control input of

which is connected to an electronic computing device, microwave inputs are connected to the output of the divider and an indicator communication element, and the output is connected to the input of the power detector; a digital-to-analog converter, the output of which is connected to control input of the microwave generator, and the input to the electronic computing device; an analog-to-digital converter, the input of which is connected to the output of the power detector, and the output to the electronic computing device; a temperature sensor connected to the input of the electronic computing device; an interface unit connected to an electronic computing device and a control electronic computing device [7].

The disadvantages of the device include technical complexity of diagnosing the degree of damage to metal structural elements; when operating the device, it is necessary to turn off the power in the area under study; the absence of a data transmission system to the control center.

The proposed system of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal elements located underground allows expanding functionality by constant monitoring their condition, without excavation during measurements and transmitting information to the control center via a wireless network.

Results and discussion

The system of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal elements located underground consists of a serially connected monitoring object, a primary transducer unit connected to a matching and measurement unit, the output of which is connected to the input of the communication unit, and contains a system power supply unit. It differs in the design of the sensitive element and the presence of a communication unit [8].

Figure 2 shows a block diagram of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal elements located underground.

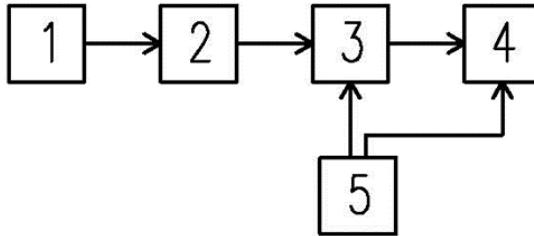


Figure 2 – Block diagram:

1 – object of control; 2 – primary converter block; 3 – coordination and measurement block; 4 – communication unit; 5 – power supply unit

The system consists of control object 1, primary converter unit 2, matching and measurement unit 3, communication unit 4, power supply unit 5.

The system continuously monitors the sequence of the sensitive element destruction.

It is known that significant reducing the regulated service life of metal structural elements is caused by electrochemical corrosion that occurs during interaction with the soil [9, 10].

The system operates as follows: control object 1 is connected to primary transducer block 2 and the signal about the state of the sensitive element from the output of primary transducer block 2 is supplied to the input of matching and measurement block 3. There the signal is converted into a digital code and the signals received from primary converter block with saving the results. The signal about the state of the sensitive elements from the output of matching and measurement unit 3 is supplied to the input of communication unit 4 that transmits this signal to the control center. Based on the data received, the control center makes a decision on either compliance with current operating conditions or non-compliance.

Unit 5 is used to power the system.

The blocks included in the device are implemented on the basis of the known technical solutions: control object 1 is a metal structure made of steel and located underground; primary transducer block 2 consists of sensitive elements and of four metal plates with the thickness of 2, 4, 8, 12 mm made of steel; matching and measurement unit 3 is in the simplest case a microcontroller with a certain set of software and hardware that converts the number of destroyed

sensitive elements into a digital code; communication unit 4 is a wireless transmitting device in the form of GSM or radio modem; power supply unit 5 is a rechargeable battery. Since the process of electrochemical corrosion is slow and data are transmitted once a month within 2-3 minutes, it is sufficient to use a rechargeable battery for power supply. The batteries are replaced during scheduled work on overhead power lines.

Figure 3 shows a block diagram of design solutions for a system of monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal elements located underground, on a portal-type support.

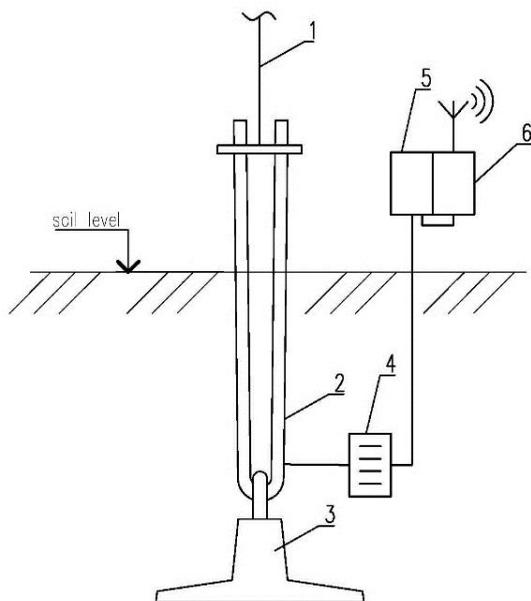


Figure 3 – Diagram of design solutions for the monitoring system:

- 1 – cable guy 1, 2 – U-shaped bolt; 3 – anchor plate with a loop;*
- 4 – primary converter block; 5 – coordination and measurement block; 6 – communication unit*

The proposed design solutions for the monitoring system make it possible to quickly replace the batteries and to transmit data to the control center. The presence of electrical contact between the sensitive element and the object of

study allows taking into account the effect of leakage currents on electrochemical corrosion.

Conclusions

Thus, the work substantiates the relevance of developing an automated diagnostic system for support fastening elements, formulates the basic requirements and proposes a technical implementation.

The proposed system allows periodical collecting the information of the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal fastening elements of supports located underground, and transmitting it to the control center.

For further research, it is necessary to develop an autonomous power supply unit for the monitoring system. This will eliminate routine work for replacing batteries.

REFERENCES

1 **Rahman, K. M. J., Munnee, M. M., Khan, S.**, Largest blackouts around the world: Trends and data analyses //2016 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE). – IEEE, 2016. – P. 155-159.

2 **Akimzhanov, T. B., ZHumazhanov, S. K., Isabekov, ZH. B., Amir, E. K.**, Dobavochnye poteri elektricheskoy energii pri ee raspredelenii v elektricheskoy seti [Additional losses of electrical energy during its distribution in the electrical network]// Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2023. – №4. – P. 23-34.

3 **Bapin, Y., Ekisheva, S., Papic, M., Zarikas, V.**, Outage Data Analysis of the Overhead Transmission Lines in Kazakhstan Power System //2020 International Conference on Proba-bilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS). – IEEE, 2020. – P. 1-6.

4 **Efimov, E. N., Timashova, L. V., Jasinskaja, N. V.**, Prichiny i harakter povrezhdaemosti komponentov vozдушnyh linij jelektroperedachi naprjazheniem 110-750 kV v 1997-2007 gg . Jenergija edinoj seti. – 2012. – №. 5. – P. 32-41.

5 **Chistjakova, A. V., Orlov, V. A., Chuhin, V. A.**, Diagnostika tehničeskogo sostojanija metallicheskih truboprovodov. Prirodoobustrojstvo. – 2016. – №. 2. – P. 48-54.

6 Pat. № 2299421 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK G01N 17/02. Spособ opredeleniya korrozionnogo sostoyaniya metallicheskih elementov ankernogo uzla ottyazhek opor [A method for determining the corrosion state of metal elements of the anchor assembly of the support ties]/ **Tarasov, A. G.**; № 2005119527/28; zayavl. 16.06.2005; opubl. 20.05.2007.

7 Pat. № 87020 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01N 22/02. Ustrojstvo dlya izmereniya korrozii metodom poverhnostnoj elektromagnitnoj volny [Device for measuring corrosion by surface electromagnetic wave method]/ **CHurakov, A. A., Demin, YU. V., Mozilov, A. I.**; № 2009123142/22; zayavl. 17.06.2009; opubl. 20.09.2009.

8 Pat.№ 8813 Respublika Kazahstan, MPK G01N 27/20. Sistema monitoringa stepeni razrusheniya ot elektrohimicheskoj korrozii metallicheskih elementov raspolozhennyh pod zemlej [A system for monitoring the degree of destruction from electrochemical corrosion of metal elements located underground] / **Taran, N. YU., Kaverin, V. V.**; № 36225; zayavl. 23.05.2023; opubl. 12.05.2023.

9 **Arriba-Rodriguez, L.-d., Villanueva-Balsera, J., Ortega-Fernandez, F., Rodriguez-Perez, F.**, Methods to Evaluate Corrosion in Buried Steel Structures: A Review// *Metals*. – 2018. – 8. – p. 334. <https://doi.org/10.3390/met8050334>.

10 **Taran, N. YU., Kalinin, A.A., Kaverin, V. V., Sarsikeev, E. ZH.**, Analiz metodov diagnostiki elektrohimicheskoj korrozii na vozduzhnyh liniyah elektroperedach napryazheniem 220-500 kV [Analysis of Diagnostic Methods for Electrochemical Corrosion on Overhead Power Lines With a Voltage of 220-500 kV]// *Trudy Universiteta*. – 2023. – №3. – P. 407-413.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Rahman, K. M. J., Munnee, M. M., Khan, S.**, Largest blackouts around the world: Trends and data analyses //2016 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE). – IEEE, 2016. – P. 155-159.

2 **Акимжанов, Т. Б., Жумажанов, С. К., Исабеков, Ж. Б., Амир, Е. К.**, Добавочные потери электрической энергии при ее распределении в электрической сети// *Вестник Торайгыров университета*. – 2023. – №4. – С. 23-34.

3 **Варин, Y., Ekisheva, S., Papic, M., Zarikas, V.**, Outage Data Analysis of the Overhead Transmission Lines in Kazakhstan Power System //2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS). – IEEE, 2020. – P. 1-6.

4 **Ефимов, Е. Н., Тимашова, Л. В., Ясинская, Н. В.**, Причины и характер повреждаемости компонентов воздушных линий электропередачи напряжением 110-750 кВ в 1997-2007 гг// Энергия единой сети. – 2012. – №. 5. – С. 32-41.

5 **Чистякова, А. В., Орлов, В. А., Чухин, В. А.**, Диагностика технического состояния металлических трубопроводов// Природообустройство. – 2016. – №. 2. – С. 48-54.

6 Пат. № 2299421 С2 Российская Федерация, МПК G01N 17/02. Способ определения коррозионного состояния металлических элементов анкерного узла оттяжек опор/ **Тарасов А. Г.**; № 2005119527/28; заявл. 16.06.2005; опубл. 20.05.2007.

7 Пат. № 87020 U1 Российская Федерация, МПК G01N 22/02. Устройство для измерения коррозии методом поверхностной электромагнитной волны/**Чураков, А. А., Демин, Ю. В., Мозиллов, А. И.**; № 2009123142/22; заявл. 17.06.2009; опубл. 20.09.2009.

8 Пат. № 8813 Республика Казахстан, МПК G01N 27/20. Система мониторинга степени разрушения от электрохимической коррозии металлических элементов расположенных под землей/ **Таран, Н. Ю., Каверин, В. В.**; № 36225; заявл. 23.05.2023; опубл. 12.05.2023.

9 **Arriba-Rodriguez, L.-d., Villanueva-Balseira, J., Ortega-Fernandez, F., Rodriguez-Perez, F.**, Methods to Evaluate Corrosion in Buried Steel Structures: A Review// Metals. – 2018. – 8. – p. 334. <https://doi.org/10.3390/met8050334>.

10 **Таран, Н. Ю., Калинин, А.А., Каверин, В. В., Сарсикеев, Е. Ж.**, Анализ методов диагностики электрохимической коррозии на воздушных линиях электропередач напряжением 220-500 кВ// Труды Университета. – 2023. – №3. – с. 407-413.

**Н. Ю. Таран¹, В. В. Каверин², Е. Ж. Сарсикеев³, В. В. Титков⁴*

^{1,2} Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

³Қазақ агротехникалық университеті. С. Сейфуллина, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

⁴Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей Федерациясы, Санкт-Петербург қ.

ЖЕР АСТЫНДА ОРНАЛАСҚАН МЕТАЛЛ ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ, ӘУЕ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ТІРЕКТЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ КОРРОЗИЯДАН БҰЗЫЛУ ДӘРЕЖЕСІН БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІ

Бұл мақалада зерттеулер жүргізіліп, жер астында орналасқан электр желілерінің тіректерін бекітетін металл элементтерінің электрохимиялық коррозиядан бұзылу дәрежесін бақылау жүйесінің құрылымдық схемасы жасалды. Авариялық ажыратулардың себептеріне талдау жасалды ТМД аумағындағы әуе электр желілері мен салдарын бағалау әдістері шет елдерде қолданылады. Зерттеулер Қазақстанның бірыңғай энергетикалық жүйесін жаңғыртуға, авариялық жағдайларды азайтуға және тұтынушыларды электрмен жабдықтау сенімділігін арттыруға бағытталған. Бағыттардың бірі-жер астында орналасқан тіректерді бекіту түйіндерінің бұзылу дәрежесін тікелей бақылау. Мақалада портал тірек тірек қондырғысы үшін ұсынылған бақылау жүйесінің құрылымдық шешімдерінің схемасы келтірілген. Ұсынылған жүйе Портал типті тіректерді бекітудің металл элементтерінің электрохимиялық коррозиясынан жойылу дәрежесі туралы ақпаратты жинауға және диспетчерлік пунктке беруге мүмкіндік береді. Ақпаратты өңдеу нәтижелері бойынша әуе электр беру желілерінің тіректерін бекітудің жерасты элементтерін ауыстыру туралы шешім қабылданады.

Кілтті сөздер: портал түріндегі тіректер, әуе электр желілері, электр желісінің қауіпсіздігі, электр желісінің сенімділігі, электрохимиялық коррозия, U-болт, бақылау жүйесі.

*Н. Ю. Таран¹, В. В. Каверин², Е. Ж. Сарсикеев³, В. В. Титков⁴

^{1,2}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Республика Казахстан, г. Караганда;

³Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, г. Астана;

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПОД ЗЕМЛЯМИ, ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В данной статье проведены исследования и разработана структурная схема системы мониторинга степени разрушения от электрохимической коррозии металлических элементов крепления опор воздушных линий электропередач, расположенных под землей. Выполнен анализ причин аварийных отключений воздушных линий электропередач на территории СНГ и методы оценки последствий применяемый в зарубежных странах. Исследования направлены на модернизацию единой энергетической системы Казахстана, уменьшение аварийных ситуаций и повышение надежности электроснабжения потребителей. Одним из направлений является непосредственный контроль степени разрушения узлов крепления опор, расположенных под землей. В статье представлена схема конструктивных решений предлагаемой системы мониторинга для узла крепления опоры порталного типа. Предлагаемая система позволяет собирать и передавать на диспетчерский пункт информацию о степени разрушения от электрохимической коррозии металлических элементов крепления опор порталного типа. По результатам обработки информации принимается решение о замене подземных элементов крепления опор воздушных линий электропередач.

Ключевые слова: опоры порталного типа, воздушные линии электропередач, безопасность энергосистемы, надежность

энергосистемы, электрохимическая коррозия, U-образный болт, система мониторинга.

***В. И. Фандюшин¹, Н. Н. Пудич², Ю. В. Улихина³**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: fan.vladimir@mail.ru

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

АДАПТИВНЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ ДЛЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

В данной статье представлена структурная схема адаптивного регулятора мощности дуговых сталеплавильных печей. Широкие исследования эксплуатации таких печей показали, что существует много факторов, приводящих к повышенной дисперсии колебаний тока дуги, а это в свою очередь вызывает неравномерность выделения мощности и снижает технико-экономические показатели печи. Поэтому является актуальной задача адаптации системы автоматического регулирования мощности дуговых сталеплавильных печей к изменяющимся характеристикам возмущающих воздействий по ходу плавки.

От повышенной дисперсии колебаний тока дуги можно избавиться путём адаптации параметров регулятора мощности к определённому типу возмущений, появляющихся в металлургические периоды плавки. В другие периоды плавки, например, в режиме расплавления твёрдой шихты такая адаптация невозможна и даже вредна. Снизить колебания токов дуг можно путём изменения инерционности цепи управления в зависимости от номера ступени переключателя ступеней напряжения печного трансформатора. Инерционность цепи управления предложено регулировать вводом в цепь апериодического звена первого порядка.

В статье описана разработка адаптивного контура регулирования положения электрода, даны рекомендации по используемым электронным компонентам и представлены возможности дальнейшей модернизации системы управления.

Ключевые слова: дуговые сталеплавильные печи, регулятор мощности, аperiodическое звено, периоды плавки, адаптация.

Введение

Известно, что на ток электрической дуги в электропечи влияют различные случайные факторы: колебания ионизации в дуговом разряде в моменты плавления и испарения шихты, изменения химического состава шихты, перемещения дуги от действия электромагнитных сил, механические вибрации электродов, изменения амплитуды питающего напряжения сети и др. Эти возмущения наблюдаются во всех фазах и характерны для любого периода работы печи, они вызывают колебания токов дуг, которые, как по своей природе, так и по основным параметрам (амплитуда, частота и форма волны) также являются случайными.

Необходимость учёта большого числа случайных факторов обуславливает использование основных положений теории вероятностей, что позволяет свести описание многочисленных эмпирических данных к небольшому числу характеристик и достаточно чётко предсказать поведение дуговой электропечи, как объекта со случайной природой колебаний электрической нагрузки. Такие колебания существуют во всех режимах работы печи. Но если в период расплавления шихты колебания максимальны и требуют немедленной отработки системой автоматического регулирования (САР), то в металлургические периоды плавки, когда сформирована ванна жидкого метала, такие колебания малы и в меньшей степени влияют на технико-экономические показатели работы дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Тем не менее, эти колебания отрицательно влияют на двигатель электропривода электрода и приводят к увеличению расхода электроэнергии на плавку. От таких колебаний можно избавиться посредством модернизации САР мощностью ДСП с адаптацией к кратковременным возмущениям, появляющимся в металлургические периоды плавки.

Материалы и методы

Обширные исследования вероятностных характеристик электрических параметров позволили определить степень нестабильности электрических режимов электродов в зависимости от дисперсии колебаний тока дуги. При этом отмечаются три рода колебаний [1]:

частые колебания длительностью в несколько миллисекунд, вызванные изменением ионизации дугового промежутка, величиной до 50% от номинального тока;

изменения тока с частотой от долей герц до 8 герц, достигающие значений 25 % в обе стороны от номинального тока, эти изменения тока вызываются внешними и внутренними механическими и электромагнитными усилиями, действующими на подвижную часть системы, несущей электроды и на сами дуги;

возмущения тока, вызываемые перемещениями шихты и ограничиваемые лишь сопротивлением токоподвода, эти колебания имеют место в период расплавления шихты.

Достаточно точно описать такие колебания можно лишь в результате проведения довольно трудоёмких замеров и расчётов с применением специального счётного прибора, подсчитывающего возмущения тока определённой амплитуды и продолжительности. Такие замеры показали, что по мере увеличения продолжительности возмущений их число закономерно убывает [2]. Эти возмущения вызывают колебания тока дуги, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях ДСП: коэффициенте полезного действия (КПД) и коэффициенте мощности. Поэтому одним из направлений увеличения КПД дуговой сталеплавильной печи является снижение дисперсии тока дуги, приводящее к снижению удельного расхода электроэнергии.

Можно применять простые устройства, корректирующие уставку регулятора, но если САР ДСП не обеспечивает малых значений разброса тока, то экономически целесообразнее разработать регулятор мощности ДСП с увеличенной помехоустойчивостью, чтобы не обрабатывать ложные сигналы. Такая задача является технически сложной для периода расплавления, когда регулятор постоянно находится в переходном режиме и относительное среднеквадратическое отклонение тока достигает 65% [3]. В периоды рафинирования и окисления эта величина значительно меньше – 15 – 20%, т.е. режим работы гораздо спокойнее.

Согласно технологических требований, зону нечувствительности регулятора необходимо изменять в течении плавки от 6 – 7 % в период расплава шихты и до 2 – 3 % в металлургические периоды плавки [4]. Повышенная зона нечувствительности в периоды расплавления необходима для дополнительного повышения устойчивости и основное требование к регулятору – это быстродействие. В металлургические периоды плавки от регулятора требуется высокая чувствительность и точность регулирования, поэтому зону нечувствительности необходимо уменьшать, но в этом случае регулятор оказывается чувствителен к малым и кратковременным возмущениям с частотой от долей герц до единиц герц. Такие возмущения регулятор не должен обрабатывать, а должен только поддерживать заданное среднее значение тока. Однако, даже при работе на низшей ступени напряжения печного трансформатора при полностью сформированной ванне жидкого металла было отмечено, что двигатель перемещения электрода в среднем за 1 секунду успевает изменить направление вращения [5]. А это приводит к увеличению дисперсии колебаний тока дуги, что вызывает неравномерность выделения мощности и снижает технико-экономические показатели печи.

Результаты и обсуждение

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что возмущающие воздействия по ходу плавки значительно и закономерно изменяются и из-за таких изменений параметров объекта принципы управления без адаптации становятся недостаточными, а контуры систем управления с неизменной настройкой – малопригодными. Поэтому возникает необходимость решить задачу адаптации САР ДСП к изменяющимся характеристикам возмущающих воздействий по ходу плавки. Была поставлена задача сделать привод нечувствительным к малым и кратковременным возмущениям в металлургические периоды плавки. Это можно осуществить простым и надёжным средством: ввести апериодическое звено в пропорциональный канал регулирования контура положения электрода и изменять параметры этого звена в зависимости от периода работы печи. Аperiодическое звено представляет собой известную схему фильтра низких частот на конденсаторах [6].

Электро-механический регулятор мощности ДСП поддерживает дифференциальный принцип регулирования, что обеспечивается двумя

каналами управления: пропорциональным и релейным [7]. Релейный канал служит для мгновенной обработки максимальных возмущений и коротких замыканий, поэтому апериодическое звено в этот канал вводить нельзя, так как замедлится обработка больших возмущений и коротких замыканий. А в канале пропорционального управления апериодическое звено не мешает обработке значительных возмущений, так как этот канал работает в спокойные металлургические периоды плавки. На рисунке 1 показана структурная схема регулятора мощности с разработанным адаптивным контуром регулирования положения электрода.

Изменение инерционности цепи управления осуществляется в зависимости от номера ступени переключателя ступеней напряжения (ПСН) печного трансформатора.

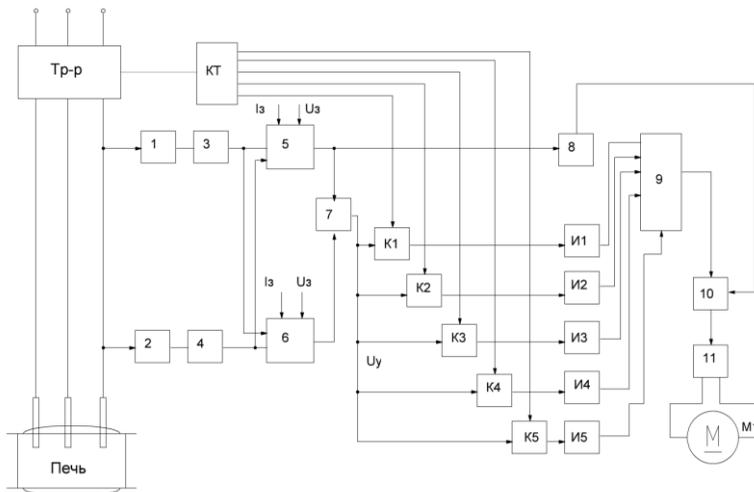


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного регулятора мощности ДСП

Регулятор содержит датчик тока 1 и датчик напряжения 2, подключённые к согласующим элементам 3 и 4. На выходе сумматора 5 формируется сигнал задания на подъём электрода, а на выходе сумматора 6 формируется сигнал задания на спуск электрода. Эти два сигнала сравниваются в блоке сравнения 7 и на его выходе появляется напряжение управления U_y . Далее с помощью коммутаторов K1 – K5 сигнал управления поступает на соответствующие инерционные элементы ИЭ1 – ИЭ5, с

выхода которых через сумматор 9 поступает на усилитель-сумматор 10. С выхода усилителя-сумматора сигнал поступает на тиристорный преобразователь 11, который управляет двигателем перемещения электрода М. Управление коммутаторами К1 – К5 осуществляется с помощью КТ – коммутатора ступеней напряжения печного трансформатора.

Инерционные элементы и фильтр могут быть выполнены по любой схеме, но желательно на операционных усилителя типа 140УД8А или аналогичных с полевыми транзисторами на входе [8]. Такие операционные усилители имеют повышенное входное сопротивление, поэтому конденсаторы фильтра могут иметь не большую ёмкость, так как расчёты показывают, что для нужной величины постоянной времени фильтра пришлось бы использовать ёмкость в сотни микрофард [9]. Коммутаторы можно изготовить на герконовых реле или оптронах, а пороговые элементы могут быть собраны по схеме компаратора с регулируемым уровнем напряжения сравнения [10].

Выводы

Главная цель, описанной здесь модернизации регулятора мощности, заключается в снижении дисперсии колебаний тока дуги. Этот эффект объясняется тем, что обработка регулятором мощности малых и кратковременных возмущений замедляется на столько, что ненужные перемещения электродов практически устраняются. А это приводит к увеличению коэффициента полезного действия и коэффициента мощности электропечной установки.

Достоинством данной схемы является простота реализации контура адаптации на действующей САР ДСП и возможность дальнейшей модернизации схемы. Например, перед коммутаторами можно поставить пороговые элементы и фильтр с большой величиной постоянной времени, чтобы исключить ложные переключения коммутаторов из-за непостоянства напряжения дуги, которое возможно даже на одной ступени напряжения печного трансформатора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Рябов, А. В.** Современные способы выплавки стали в ДСП [Текст]. – М. : Теплотехник, 2007. – 192 с.
- 2 **Панова, О. С.** Разработка и совершенствование способов компенсации реактивной мощности дуговых сталеплавильных печей [Текст]. – М. : Академия, 2010. – 173 с.
- 3 **Алиферов, А. И., Бикеев, Р. А., Горева, Л. П.** Дуговые электропечи [Текст]. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 204 с.
- 4 **Протасов, А. В., Смирнов, Л. А., Сивак, Б. А.** Рафинирование стали в процессе разлива [Текст]. – М. : Инфра-Инженерия, 2023. – 328 с.
- 5 **Рубцов, В. П., Дмитриев, И. Ю., Минеев, А. Р.** Параметры дугового разряда и их влияние на эффективность работы ЭТУ // Электричество. – 2000. – №8. – С.40–41.
- 6 **Лаврентьев, Б. Ф.** Схемотехника электронных средств [Текст]. – М. : Академия, 2010. – 336 с.
- 7 **Ефанов, А. В., Ярош, В. А.** Теория автоматического управления: учебник для вузов [Текст]. – СПб. : Лань, 2024. – 160 с.
- 8 **Коммисаров, Ю. А., Гордеев, Л. С., Вент, Д. П., Бабокин, Г. И.** Основы электротехники, микроэлектроники и управления [Текст]. – М. : Химия, 2007. – 451 с.
- 9 **Хоровиц, П., Хилл У.** Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т. 3 [Текст]. – М. : Мир, 1993. – 367 с.
- 10 **Джонс, М. Х.** Электроника – практический курс [Текст]. – М. : Постмаркет, 1999. – 528 с.

REFERENCES

- 1 **Ryabov, A. V.** Sovremennyye sposoby vyplavki stali v DSP [Modern methods of steel smelting in chipboard] [Text]. – М. : Teplotekhnik, 2007. – 192 p.
- 2 **Panova, O. S.** Razrabotka i sovershenstvovaniye sposobov kompensatsii reaktivnoy moshchnosti dugovykh staleplavil'nykh pechey [Development and improvement of methods for compensating the reactive power of arc steel-smelting furnaces] [Text]. – М. : Academy, 2010. – 173 p.

3 **Aliferov, A. I., Bikeev, R. A., Goreva, L. P.** Dugovyue elektropечи [Electric arc furnaces] [Text]. Novosibirsk : NSTU Publishing House, 2018. – 204 p.

4 **Protasov, A. V., Smirnov, L. A., Sivak, B. A.** Rafinirovaniye stali v protsesse razlivki [Refining steel during the casting process] [Text]. – M. : Infra-Engineering, 2023. – 328 p.

5 **Rubtsov, V. P., Dmitriev, I. Yu., Mineev, A. R.** Parametry dugovogo razryada i ikh vliyaniye na effektivnost' raboty ETU [Parameters of the arc discharge and their influence on the efficiency of the ETD] // Electricity. – 2000. – No. 8. – P.40–41.

6 **Lavrentiev, B. F.** Skhemotekhnika elektronnykh sredstv [Circuitry of electronic devices] [Text]. – M.: Academy, 2010. – 336 p.

7 **Efanov, A. V., Yarosh, V. A.** Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: uchebnik dlya vuzov [Automatic control theory: a textbook for universities] [Text]. – St. Petersburg. : Lan, 2024. – 160 p.

8 **Kommisarov, Yu. A., Gordeev, L. S., Vent, D. P., Babokin, G. I.** Osnovy elektrotekhniki, mikroelektroniki i upravleniya [Fundamentals of electrical engineering, microelectronics and control] [Text]. – M. : Chemistry, 2007. – 451 p.

9 **Horowitz, P., Hill, W.** Iskustvo skhemotekhniki: V 3-kh tomakh: T. 3 [The art of circuit design: In 3 volumes: T. 3] [Text]. –M. : Mir, 1993. – 367 p.

10 **Jones, M. H.** Elektronika – prakticheskiy kurs [Electronics - a practical course] [Text]. – M. : Postmarket, 1999. – 528 p.

*В. И. Фандюшин¹, Н. Н. Пудич², Ю. В. Улихина³

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

ДОҒАЛЫ БОЛАТ БЕРУ ПЕШТЕРІ ҮШІН АДАПТИВТІ ҚУАТТЫ БАСҚАРУ

Бұл мақалада доғалы болат балқыту пештері үшін бейімделгіш қуат реттегішінің құрылымдық схемасы берілген. Мұндай пештердің жұмысын ауқымды зерттеулер доға тогының тербелістерінің дисперсиясының жоғарылауына әкелетін көптеген

факторлардың бар екенін көрсетті және бұл өз кезегінде қуаттың біркелкі емес босатылуын тудырады және пештің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін төмендетеді. Сондықтан догалы болат балқыту пештерінің қуатты автоматты басқару жүйесін балқыту процесі кезіндегі бұзылатын әсерлердің өзгеретін сипаттамаларына бейімдеу кезек күттірмейтін міндет болып табылады.

Догалық ток тербелістерінің дисперсиясының жоғарылауын қуат реттегішінің параметрлерін балқытудың металлургиялық кезеңдерінде пайда болатын бұзылудың белгілі бір түріне бейімдеу арқылы жоюға болады. Балқытудың басқа кезеңдерінде, мысалы, қатты зарядты балқыту режимінде мұндай бейімделу мүмкін емес, тіпті зиянды. Пеш трансформаторының кернеу қадамдық ауыстырып-қосқышының саты нөміріне байланысты басқару тізбегінің инерциясын өзгерту арқылы догалық токтардың ауытқуын азайтуға болады. Тізбекке бірінші ретті аperiodтық буынды енгізу арқылы басқару тізбегінің инерциясын реттеу ұсынылады.

Мақалада адаптивті электрод позициясын басқару циклінің дамуы сипатталған, пайдаланылатын электрондық компоненттер бойынша ұсыныстар берілген және басқару жүйесін одан әрі жаңғырту мүмкіндіктері ұсынылған.

Кілтті сөздер: догалы болат балқыту пештері, қуат реттегіші, аperiodтық звено, балқыту кезеңдері, бейімделу.

*V. I. Fandyushin¹, N. N. Pudich², Yu. V. Ulikhina³

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

ADAPTIVE POWER CONTROL FOR ARC STEEL MELTING FURNACES

This article presents a block diagram of an adaptive power regulator for arc steel-smelting furnaces. Extensive studies of the operation of such furnaces have shown that there are many factors leading to increased

dispersion of arc current fluctuations, and this in turn causes uneven power release and reduces the technical and economic performance of the furnace. Therefore, the urgent task is to adapt the automatic power control system of arc steel-smelting furnaces to the changing characteristics of disturbing influences during the melting process.

Increased dispersion of arc current oscillations can be eliminated by adapting the parameters of the power regulator to a certain type of disturbance that appears during the metallurgical periods of smelting. During other periods of smelting, for example, in the mode of melting a solid charge, such adaptation is impossible and even harmful. It is possible to reduce fluctuations in arc currents by changing the inertia of the control circuit depending on the stage number of the voltage step switch of the furnace transformer. It is proposed to regulate the inertia of the control circuit by introducing a first-order aperiodic link into the circuit.

The article describes the development of an adaptive electrode position control loop, provides recommendations on the electronic components used, and presents possibilities for further modernization of the control system.

Keywords: arc steel-smelting furnaces, power regulator, aperiodic link, melting periods, adaptation.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Акишев Каршыға Максұтович, Техника ғылымдарының кандидаты, (доцент), Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, технология факультеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akmail04cx@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5202-3501>

Атякшева Александра Владимировна, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультеті, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, sahsa77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2523-3890>

Алдунгарова Әлия Қайратқызы, қауымд. профессор, С. Сәдуақасов атындағы Агротехникалық институт, Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Liya_1479@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9248-7180>

Арыстанбаев Құттыбек Есенгелдыұлы, техника ғылымдарының кандидаты, «Фармацевтикалық өндіріс технологиясы» кафедрасының доценті, АҚ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы», Шымкент қ., 160001, Қазақстан Республикасы, e-mail: 201ukgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9499-192X>

Ауельбек Марат Ауельбекович, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.auyelbek@kazatu.edu.kz, <http://orcid.org/0009-0005-8055-5018>

Аслан Туменов, ЖШС «Augum Bytes», Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aslan.tumenov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-1222-0202>

Акаев Айбек Муратбекович, PhD докторы, Сәулет құрылыс және энергетика мектебі, Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9390-5703>

Айтмагамбетова Гульмира Аскербекқызы, «Жылуэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Торайғыров университеті, Энергетика

факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: gul_2904@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7934-9990>

Әмір Азисхан Әшімханұлы - «Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар» кафедрасының инженері, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aziskhan.amir@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0007-4001-3745>

Әбенова Әсем Төлегенқызы, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Computer Science факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Балгабеков Төлеу Кунжолович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ХАА академигі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: t.balgabekov@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-7603-0023>

Булатбаева Юлия Феликсовна, PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің «Өндірістік процестерді автоматтандыру» кафедрасы, доценті, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университет, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы, 100027, e-mail: julia_my_angel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>

Булатбаев Феликс Назымович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Энергетика, автоматика және телекоммуникациялар факультетінің деканы, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы, 100027, e-mail: felix4965@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3574-1189>

Балгабаева Галия Серікбаевна, аға оқытушы, «Торайғыров университеті, Computer Science факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Бекенова Дариға Бекенқызы, Магистр, оқытушысы, Туран университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dariyba@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9302-6047>

Галкин Станислав Васильевич, PhD докторанты, Сәулет құрылыс және энергетика мектебі, Қ Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан

техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: galkin.ektu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5254-5537>

Джексембаева Асель Еркековна, PhD, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті", Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dzhexembaveva_ave@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Дусова Ризагуль Муслимовна, Техника ғылымдарының кандидаты, Торайғыров университеті постдокторанты, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: riza92@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Дашевская Анастасия Дмитриевна, Корпоративтік Басқару және Орнықты Даму» департаментінің бас менеджері, Самұрық-Энерго акционерлік қоғамы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nastita1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5599-8117>

Елистратов Сергей Львович, техника ғылымдарының докторы, доцент, Жылу электр станциялары кафедрасы, Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск қ., 630073, Ресей Федерациясы, e-mail: elistratov@corp.nstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7803-2067>

Есмаханова Лаура Нурлановна, PhD "Автоматтандыру және телекоммуникация" кафедрасы, докторы, Технологиялық факультет, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: laura060780@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

Жантілесова Әсемгүл Бейсембайқызы, м. а. қауымд. профессор (доцент), PhD докторы, Қазақ мемлекеттік университеті Сейфуллин, А., Қазақстан Республикасы, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: acbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

Жарасов Шыңғыс Жарасович, PhD, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhshzh95@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>

Жумадилова Алия Кайрулловна, техника ғылымдарының кандидаты, Электр энергетикасы кафедрасының қауымд. профессоры, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhumadirova.a@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0232-6779>

Жуматаев Нурлыбек Шакаевич, PhD, оқытушы-практик, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 141208, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.zhumataev78@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9494-9355>

Жекамбаева Майгуль Несипалдиевна Ph.D, «Программалық инженерия» кафедрасының Қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.zhekambayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-0612-6336>

Жалмағамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы, PhD, "Электротехника және автоматтандыру" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, факультет, Энергетика, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

Жантілесова Әсемгүл Бейсембайқызы, м. а. қауымд. профессор (доцент), PhD докторы, Қазақ мемлекеттік университеті А. Сейфуллин, , Қазақстан Республикасы, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: acbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

Жакупова Камила Мухитовна, «Компьютерлік ғылымдар және инженерия» мамандығы бойынша магистрант, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhakupova.kamila@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9835-5285>

Зиябек Мәдина Оралханқызы, «Фармацевтикалық өндіріс технологиясы» білім беру бағдарламасы бойынша 2 курс магистранты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160001, Қазақстан Республикасы, e-mail: ziyabekmadina@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-1069-2301>

Исабеков Жанат Бейсембайұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Электротехника және автоматтандыру кафедрасы меңгерушісі Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Исенов Сұлтанбек Сансызбаевич, техника ғылымдырының кандидаты, қауымдастырылған профессор, энергетика факультетінің деканы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: isenov_sultan@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Исабеков Жанат Бейсембайұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), "Электротехника және автоматтандыру" кафедрасының меңгерушісі Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Исаев Валерий Львович, техника ғылымдарының кандидаты, «Энергетикалық жүйелер» кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», Автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: isaevvalerie@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1187-4638>

Исабекова Бибігүл Бейсембайқызы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Computer science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Имангазинова Динара Кенжетаетна, «Электрэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinaraigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Исенов Жанат Сансызбайұлы, «Электрэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhanat.group.pvl@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6673-5646>

Көшекөв Қайрат Темірбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ғылым бөлімі, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kkoshekov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9586-2310>

Каверин Владимир Викторович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: kaverinkz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Кайдагулов Даниял Кайратұлы, технологиялық қондырғылардың операторы; «Павлодар мұнай-химия зауыты» ЖШС, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dis_1212@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5323-8802>

Көшекөв Абай Қайратұлы, PhD, авиациялық техника және технологиялар кафедрасы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.k.koshekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7373-1494>

Құрбанов Яқуб Мұхсатұлы, шебер, ғылыми-зерттеу және құзыреттілік орталығы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: y.kurbanov@agakaz.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8883-600X>

Крыкбаева Марьям Сергазиновна, Торайғыров университеті ғылыми-инновациялық HUB директорының м. а., Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: krykbayeva.m@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-7808-8650>

Кириченко Лалита Николаевна, Industry.4.0 Ғылыми-инновациялық орталық кіші ғылыми қызметкері.4.0, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: lalita17021996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Командиров Евгений Виталиевич, автоматтандырылған басқару жүйелері және техникалық жабдықтар инженері, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: deluxx47@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>

Карымсакова Индира Бекеновна, PhD, «IT технология » кафедрасы қауымдастырылған профессоры м.а. Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: karymsakova.indira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1496-3188>

Кожаметова Динара Ошановна, PhD, Жасанды интеллект және құрылыс жоғары мектебінің деканы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>

Көшкінбаев Сәулетбек Жолдықараұлы PhD, IT және телекоммуникациялар секторының менеджері, Мирас Университеті,

Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sauke49@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5188-9549>

Кошумбаев Марат Булатович, техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: marat7759@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2434-1905>

Косымбаев Рауан Болатович, "Электр энергетикасы" мамандығы бойынша магистр, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы, 100027, e-mail: kosymbaev.r@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5439-7267>

Казамбаев Ильяс Маратулы, докторант по специальности «Автоматизация и управление», С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Ғылыми-Инновациялық Орталығы Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ., 010000, i.kazambaev@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

Камарова Сауле Нуртазаевна, PhD, «Энергетика» кафедрасы, Қарағанды, индустриалды университет, Энергетика, көлік және басқару жүйелері факультеті, Теміртау қ., 101400, Қазақстан Республикасы, e-mail: cfekt.rfvfhjdf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>

Коспармакова Самал Ахметалыевна, магистр, «ENU-Lab» ғылыми-өндірістік орталығы директорының сапа және логистика жөніндегі орынбасары, Астана қ., 010000, Қазақстан, e-mail: smartsam0509@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4700-364X>

Мәди Перизат Шаймұратқызы, техника ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, энергетика факультеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: peri@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5930-8112>

Мыркалыков Бауыржан Сейтжанович, PhD Тіркеу офисының директоры, М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Baur-phd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7224-4168>

Мерғалимова Алмагуль Каирбергеновна, PhD, аға оқытушы, Энергетика факультеті «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық

университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, almagul_mergalimova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>

Масакбаева Софья Руслановна, химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасы, профессор, Торайғыров университеті, коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sofochka184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

Мэнэндас Игнасио Пидаль, техника ғылымдарының докторы, профессор, Мадрид политехникалық университеті, Мадрид қ., 28279, Испания Патшалығы, e-mail: Ignacio.menendezpidal@upm.es, <https://orcid.org/0000-0002-7053-1101>

Мухамадиев Багдад Ерболович, «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету және автоматтандыру» мамандығы бойынша магистрант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, энергетика факультеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bagdaderbol2001@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2517-6603>

Нешина Елена Геннадьевна, техника ғылымдарының кандидаты, «Энергетикалық жүйелер» кафедрасының меңгерушісі, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», Автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: 1_neg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

Никифоров Александр Степанович, Техника ғылымдарының докторы, «Жылуэнергетика» кафедрасының профессоры, Торайғыров университеті Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aleke4599@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>

Нарынбаев Дамир Серикович, магистр, KAZENERGY қауымд. атқарушы директоры, Астана қ., 010006, Қазақстан Республикасы, e-mail: d.narynbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9705-3420>

Новожилов Александр Николаевич, Электр энергетикасы кафедрасы профессоры, техника ғылымдарының докторы, профессор (Қазақстан), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Новожилов Тимофей Александрович, «Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау» кафедрасының доценті, техника ғылымдарының кандидаты, Омбы мемлекеттік техникалық университеті Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Нуртай Жадыра, PhD, асс. профессор (доцент), Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, технология факультеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0744-0389>

Новожилов Александр Николаевич, Техника ғылымдарының докторы, профессор, Электр энергетикасы кафедрасы Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e.mail.ru: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Новожилов Тимофей Александрович, Техника ғылымдарының кандидаты, Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау кафедрасының доценті Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644050, Ресей Федерациясы, e.mail.ru: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Нефтисов Александр Витальевич, PhD, Industry 4.0 Ғылыми-Инновациялық Орталығы, Astana IT University, , Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: shurik-neftisov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

Несмеянова Римма Михайловна, химия ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор (доцент), «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасының профессоры; Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5949-4023>

Нұрмағанбетова Гүлім Сахитовна, PhD, аға оқытушы, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g_sahitovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Нурахметова Жанара Ануарбековна, PhD, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhanaranurakhmet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2558-8579>

Өмірзақ Сара Бауыржанқызы, «Фармацевтикалық өндіріс технологиясы» білім беру бағдарламасы бойынша 2 курс магистранты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., 160001, Қазақстан Республикасы, e-mail: omirzaksarah@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2190-8049>

Оспанов Ербол Амангазович, PhD философия докторы, «IT технология » кафедрасы қауымдастырылған профессоры, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей қ., 070014, Қазақстан Республикасы, e-mail: 78oea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>,

Пудич Наталья Николаевна, аға оқытушы, Торайгыров университеті, Computer Sciences факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: npudich@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

Рывкина Наталья Валентиновна, аға оқытушы, Сәулет және құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: rondv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4646-3348>

Сарсикеев Ермек Жасланұлы, PhD, меңгерушісі. Кафедра, Қазақ агротехникалық университеті, С. Сейфуллина, 010011, Қазақстан Республикасы, Астана қ., e-mail: sarsikev.ermek@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

Сарманова Алмагуль Мырзахановна, «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету және автоматтандыру» мамандығы бойынша магистрант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, энергетика факультеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: almaaguull@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4130-3673>мади

Сегеда Тамара Александровна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, Сәулет құрылыс және энергетика мектебі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., 070000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tsegeda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2279-8570>

Сейтенова Гайни Жумағалиевна, химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық

университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gainiseitenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

Сағадатова Надежда Жасулановна, Industry 4.0 Ғылыми-Инновациялық Орталығы, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sagadatovanadezhda@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2349-6465>

Смайлов Нуржигит Куралбаевич – PhD, «Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар» кафедрасының профессоры, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.smailov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Сағындық Әйгерім Бекенқызы, PhD, постдокторант, «Торайғыров Университеті», Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiko_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

Тюлюгенова Ляззат Балтабаевна, «Электр энергетика в» мамандығы бойынша докторант Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: leonard7@internet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

Тажахметов Бактияр Таирович, магистрант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: baha_tt@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6964-5663>

Таран Николай Юрьевич, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті Электр энергетикасы мамандығы бойынша докторант, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: 1814n97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7852-714X>

Титков Василий Васильевич, техникалық ғылым докторы, Профессор, Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті, Санкт-Петербург қ., 195251, Ресей Федерациясы, e-mail: titkovprof@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6763-8688>

Тюлюгенова Ляззат Балтабаевна, «Электр энергетика в» мамандығы бойынша докторант Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: leonard7@internet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

Талипов Олжас Манарбекұлы, PhD, Энергетика факультетінің деканы, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Ломова 64, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: talipov1980@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Тановицкий Юрий Николаевич, техника ғылымдарының кандидаты, ғылым бөлімі, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: y.tanovitski@agakaz.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5217-1245>

Таштай Ерлан Техникалық ғылымдар кандидаты, «Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар» кафедрасының меңгерушісі, Satbayev University, Алматы, 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: y.tashtay@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-0809-537X>

Тоғамбаев Рустам Құмарбекұлы, докторант, көлік және коммуникация институты, Рига, LV-1019, Латвия, e-mail: r.togambayev@tsi.lv, <https://orcid.org/0000-0002-0045-5764>

Умурзакова Анара Даукеновна, PhD, техника ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, энергетика факультеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Granat_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7683-5256>

Утаева Дияра Муратовна, Ғылыми жобадағы зертханашы, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: utaeva18@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2839-6645>

Уразаев Днислам Булатович, «Компьютерлік ғылымдар және инженерия» мамандығы бойынша магистрант, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dnislam.urazayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

Улихина Юлия Викторовна, аға оқытушы, Computer Sciences факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Ыбрай Султан Барлымбайұлы, Аға оқытушы, Энергетика факультеті С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sultan_energy@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5262-2149>

Фандюшин Владимир Иванович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Торайғыров университеті, Computer Sciences факультеті, Павлодар, 140013, Қазақстан Республикасы, e-mail: fan.vladimir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

Хусаинова Айдана Бауржановна, Жылу энергетикасы" мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.b.bekisheva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6032-4332>

Шимпф Алексей Андреевич, зертхана меңгерушісі, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: shimpf5329@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4203-9117>

Шмирова Жанар Қасымбековна, фармацевтика ғылымдарының кандидаты, «Фармация ісін ұйымдастыру және басқару» кафедрасының доценті, АҚ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы», Шымкент қ., 160019, Қазақстан Республикасы, e-mail: shimirova_z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9583-810X>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алдунгарова Алия Кайратовна, ассоц. профессор, Агротехнический институт имени С. Садвакасова, Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова, г. Кокшетау, 020000, Республика Казахстан, e-mail: Liva_1479@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9248-7180>

Акишев Каршыга Максutowич, кандидат технических наук, ассоц.профессор (доцент), Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Технологический факультет, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5202-3501>

Атякшева Александра Владимировна, кандидат технических наук, PhD, ассоциированный проф (доцент), Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана. 010011, Республика Казахстан, sahsa77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2523-3890>

Айтмагамбетова Гульмира Аскербеккызы, докторант по специальности «Теплоэнергетика», Торайгыров университет, Факультет Энергетики, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: gul_2904@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7934-9990>

Абенова Асем Тулегеновна, ст. преподаватель, Торайгыров университет, Факультет Computer Science, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Аслан Туменов, ТОО «Аurum Bytes», Алматы, 050000, Республика Казахстан, <https://orcid.org/0009-0007-1222-0202>, e-mail: aslan.tumenov@gmail.com

Ауельбек Марат Ауельбекович, кандидат технических наук, старший преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: m.auyelbek@kazatu.edu.kz, <http://orcid.org/0009-0005-8055-5018>

Акаев Айбек Муратбекович, доктор PhD, Школа архитектуры, строительства и энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000,

Республика Қазақстан, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-9390-5703>

Арыстанбаев Куттыбек Есенгельдыевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология фармацевтического производства», АО «Южно-Казахстанская медицинская академия», г. Шымкент, 160001, Республика Казахстан, e-mail: 201ukgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9499-192X>

Әмір Азисхан Әшімханұлы – инженер кафедры «Электроники, телекоммуникаций и космических технологий», Satbayev University, Алматы, 050000, Республика Қазақстан, e-mail: aziskhan.amir@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0007-4001-3745>

Балгабеков Төлеу Қунжолович, Кандидат технических наук, доцент, академик МАИН, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Қазақстан, e-mail: t.balgabekov@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-7603-0023>

Булатбаева Юлия Феликсовна, PhD, и.о. доцента кафедры «Автоматизации производственных процессов» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Қазақстан, 100027, e-mail: julia_mv_angel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>

Булатбаев Феликс Назымович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, декан Факультета энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», г. Караганда, 100027, Республика Қазақстан, e-mail: felix4965@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3574-1189>

Бекенова Дарига Бекенқызы, Магистр, преподаватель, Университет Туран, г. Астана, 010000, Республика Қазақстан, e-mail: Daryy6a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9302-6047>

Балгабаева Галия Серикбаевна, старший преподаватель, Торайғыров университет, Факультет Computer Science, г. Павлодар, 140008, Республика Қазақстан, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Джексембаева Асель Ермековна, PhD, Директор Департамента развития инноваций НАО «Евразийский национальный университет имени

Л.Н. Гумилева», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: dzhembayeva_ave@enu.kz

Дашевская Анастасия Дмитриевна, главный менеджер департамента «Корпоративное управление и устойчивое развитие, Самрук-Энерго, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: nastita111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5599-8117>

Дюсова Ризагуль Муслимовна, Кандидат технических наук, постдокторант Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: riza92@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Елистратов Сергей Львович, доктор технических наук, доцент, Кафедра тепловых электрических станций, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, 630073, Российская Федерация, e-mail: elistratov@corp.nstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7803-2067>

Есмаханова Лаура Нурлановна, PhD доктор кафедры «Автоматизация и телекоммуникация» Технологический факультет, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: laura060780@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

Жантлесова Асемгуль Бейсембаевна, и.о. ассоц. профессор (доцент), доктор PhD, Казахский государственный университет имени С.Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана, 010008, e-mail: acbzh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

Жарасов Шынгыс Жарасович, PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: zhshzh95@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>

Жекамбаева Майгуль Несипалдиевна PhD., ассоц. профессор кафедры «Программной инженерии», Satbayev University, Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: m.zhekambayeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-0612-6336>

Жантлесова Асемгуль Бейсембаевна, PhD, и.о. ассоц. профессор (доцент), Казахский государственный университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: acbzh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

Жуматаев Нурлыбек Шакаевич, PhD, преподаватель-практик, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, почтовый индекс: 141208, Республика Казахстан, e-mail: n.zhumataev78@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9494-9355>

Жумадилова Алия Кайрулловна, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Электроэнергетика, Факультет энергетики, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zhumadirova.a@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0232-6779>

Жакупова Камила Мухитовна, магистрант по специальности «Компьютерные науки и инженерия», Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана, 010000, e-mail: zhakupova.kamila@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, PhD, ассоц. профессор кафедры «Электротехники и автоматизации», факультет, Энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ultuara@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

Зиябек Мадина Оралханкызы, магистрант 2 курса образовательной программы «Технология фармацевтического производства», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160001, Республика Казахстан, e-mail: ziyabekmadina@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-1069-2301>

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), зав. кафедрой «Электротехники и Автоматизации» Факультета энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140006, Республика Казахстан, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6673-5646>

Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет Computer science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Исенов Жанат Сансызбаевич, докторант по специальности «Электроэнергетика», Факультет Энергетика, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zhanat.group.pvl@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

Исенов Султанбек Сансызбаевич, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, декан энергетического факультета, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: isenov_sultan@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Исаев Валерий Львович, кандидат технических наук., кафедра Энергетические системы, Карагандинский Технический университет имени Абылкаса Сагинова», факультет Энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Караганда, 100027, Республика Казахстан, isaevvalerie@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1187-4638>

Исабеков Жанат Бейсембайевич, PhD, ассоц. профессор (доцент), зав. кафедрой «Электротехники и Автоматизации» Факультета энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Кайдагулов Даниял Кайратович, оператор технологических установок; ТОО «Павлодарский нефтехимический завод», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан; e-mail: dis_1212@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5323-8802>

Каверин Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: kaverinkz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Казамбаев Ильяс Маратулы, докторант по специальности «Автоматизация и управление», Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0 Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: i.kazambaev@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

Кириченко Лалита Николаевна, младший научный сотрудник Научно-инновационный центр Industry 4.0, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: lalita17021996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Крыкбаева Марьям Сергазиновна, и.о. директора Научно-инновационного HUB, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: krykbayeva.m@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-7808-8650>

Кошкинбаев Саулетбек Жолдықараулы, PhD, Менеджер Сектора IT и телекоммуникаций, Университет Мирас, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан, e-mail: sauke49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5188-9549>

Командиров Евгений Витальевич, инженер Автоматизированных систем управления технологическим процессом, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: deluxx47@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>

Кошумбаев Марат Булатович, доктор технических наук, старший преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: marat7759@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2434-1905>

Кожаметова Динара Ошановна, PhD, Декан Высшей школы Искусственный интеллект и строительство, Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>

Кошекков Абай Кайратович, PhD, Кафедра Авиационная техника и технологии, Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: a.k.koshekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7373-1494>

Курбанов Якуб Мухсатулы, магистр, Центр научных исследований и компетенций, Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: y.kurbanov@agakaz.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8883-600X>

Камарова Сауле Нуртазаевна, PhD, кафедры «Энергетика», «Карагандинский индустриальный университет», факультет Энергетики, транспорта и систем управления, г. Темиртау, 101400, Республика Казахстан, cfekt.rfvfjhjdf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>

Карымсакова Индира Бекеновна, PhD, и.о. асоц. профессора кафедры «IT технологии», Университет имени Шакарима города Семей",

г. Семей, 70014, Республика Казахстан, e-mail: karymsakova.indira@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1496-3188>

Косымбаев Рауан Болатович, магистр по специальности «Электроэнергетика», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: kosymbaev.r@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5439-7267>

Коспармакова Самал Ахметалыевна, магистр, Заместитель директора по качеству и логистике научно–производственного центра «ENU-Lab», г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: smartsam0509@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4700-364X>

Мэнэндас Игнасио Пидаль, Доктор технических наук, профессор, Политехнический университет Мадрида, г. Мадрид, 28279, Королевство Испания, e-mail: Ignacio.menendezpidal@upm.es, <https://orcid.org/0000-0002-7053-1101>

Кошекков Кайрат Темирабаевич, Доктор технических наук, профессор, Департамент науки, Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: kkoshekov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9586-2310>

Мади Перизат Шаймуратовна, кандидат технических наук, доктор PhD, «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: peri@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5930-8112>

Масакбаева Софья Руслановна, кандидат химических наук, ассоциированный профессор (доцент), профессор кафедры «Химия и химические технологии»; Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; e-mail: sofochka184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна, PhD, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>

Мухамадиев Багдад Ерболович, магистрант по специальности «Энергообеспечение и автоматизация сельского хозяйства», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: bagdaderbol2001@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2517-6603>

Мыркалыков Бауыржан Сейтжанович, Директор офиса регистратора, доктор PhD, Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, Тараз, 080000, Казахстан, e-mail: Baur-phd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7224-4168>

Никифоров Александр Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», Торайғыров университет, Факультет энергетика, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aleke4599@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>

Нуртай Жадыра, PhD, ассоц.профессор (доцент), Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Технологический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0744-0389>

Новожилов Александр Николаевич, Доктор технических наук, профессор, кафедра «Электроэнергетика» Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Новожилов Тимофей Александрович, Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050, Российская Федерация, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Несмеянова Римма Михайловна, кандидат химических наук, ассоциированный профессор (доцент), профессор кафедры «Химия и химические технологии»; Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5949-4023>

Нарынбаев Дамир Серикович, магистр, исполнительный директор ассоциации KAZENERGY, г. Астана, 010006, Республика Казахстан, e-mail: d.narynbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9705-3420>

Новожилов Тимофей Александрович, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», кандидат технических наук, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644000, Российская Федерация, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Нурмаганбетова Гулим Сахитовна, PhD, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: g_sahitovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Нефтисов Александр Витальевич, PhD, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0 Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: shurik-neftisov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4816-8008>

Нурахметова Жанара Ануарбековна, PhD, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhanaranurakhmet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2558-8579>

Нешина Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, зав.кафедрой «Энергетические системы» Карагандинский Технический университет имени Абылкаса Сагинова», факультет Энергетики, автоматизации и телекоммуникаций, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, 1_neg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

Омирзак Сара Бауыржанкызы, магистрант 2 курса образовательной программы «Технология фармацевтического производства», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160001, Республика Казахстан, e-mail: omirzaksarah@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2190-8049>

Оспанов Ербол Амангазович, PhD, ассоц. профессор кафедры «IT технологии»; Университет имени Шакарима города Семей, Семей, 070014, Республика Казахстан, e-mail: 78oea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

Пудич Наталья Николаевна, ст.преподаватель, Торайгыров университет, Факультет Computer Sciences, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: npudich@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

Рывкина Наталья Валентиновна, ст. преподаватель, Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: rondv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4646-3348>

Сарсикеев Ермек Жасланович, PhD, зав. Кафедрой, Казахский агротехнический университет, имени С. Сейфуллина, 010011, Республика Казахстан, г. Астана, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

Сарманова Алмагуль Мырзахановна, магистрант по специальности Энергообеспечение и автоматизация сельского хозяйства, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: almaaguull@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4130-3673>

Сегеда Тамара Александровна, кандидат физико-математических наук, Школа архитектуры, строительства и энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070000, Республика Казахстан, e-mail: tsegeda@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-2279-8570>

Смайлов Нуржигит Куралбаевич, PhD, профессор кафедры «Электроники, телекоммуникаций и космических технологий», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: n.smailov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Сагындык Айгерим Бекенкызы, PhD, постдокторант Торайғыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aiko_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

Сейтенова Гайни Жумагалиевна, кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: gainiseitenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

Сагадатов Надежда Жасулановна, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0 Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sagadatovanadezhda@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2349-6465>

Тюлюгенова Ляззат Балтабаевна, докторант по специальности «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: leonard7@internet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

Тажахметов Бактияр Таирович, Магистрант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,

г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: bahatt@bk.ru,
<https://orcid.org/0009-0008-6964-5663>,

Таран Николай Юрьевич, докторант по специальности «Электроэнергетика» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: 1814n97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7852-714X>

Титков Василий Васильевич, доктор технических наук., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация, e-mail: titkovprof@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6763-8688>

Тюлюгенова Ляззат Балтабаевна, докторант по специальности «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: leonard7@internet.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

Тановицкий Юрий Николаевич, кандидат технических наук, Департамент науки, Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: y.tanovitski@agakaz.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5217-1245>

Талипов Олжас Манарбекович, PhD, декан энергетического факультета, профессор, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: talipov1980@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Тогамбаев Рустам Кумарбекович, докторант, Институт транспорта и связи, г. Рига, LV-1019, Латвия, e-mail: r.togambayev@tsi.lv,
<https://orcid.org/0000-0002-0045-5764>

Таштай Ерлан, Кандидат технических наук, Заведующий (ая) кафедрой «Электроники, телекоммуникаций и космических технологий», Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, y.tashtay@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-0809-537X>

Умурзакова Анара Даукеновна, кандидат технических наук, доктор PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Энергетический факультет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Granat_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7683-5256>

Улихина Юлия Викторовна, ст.преподаватель, Факультет Computer Sciences, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика

Казахстан, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Утаева Дияра Муратовна, Лаборант в научном проекте, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: utaeva18@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2839-6645>

Уразаев Днислам Булатович, магистрант по специальности «Компьютерные науки и инженерия», Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: dnislam.urazayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

Ыбрай Султан Барлымбайулы, ст. преподаватель, энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sultan_energy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5262-2149>

Фандюшин Владимир Иванович, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Торайғыров университет, Факультет Computer Sciences, г. Павлодар, 140013, Республика Казахстан, e-mail: fan.vladimir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

Хусаинова Айдана Бауржановна, магистр технических наук по специальности "Теплоэнергетика", Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: a.b.bekisheva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6032-4332>

Шмирова Жанар Касымбековна, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Организации и управления фармацевтического дела», АО «Южно-Казахстанская медицинская академия», г. Шымкент, 160019, Республика Казахстан, e-mail: shimirova_z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9583-810X>

Шимпф Алексей Андреевич, заведующий лабораториями, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: shimpf5329@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4203-9117>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aldungarova Aliya Kairatovna, Associate Professor, S.Sadvakasov Agrotechnical Institute, Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Liya_1479@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9248-7180>

Arystanbayev Kuttybek Esengeldyevich, candidate of technical sciences, assistant professor of the Department of «Pharmaceutical production technology», «South Kazakhstan Medical Academy» JSC, Shymkent, 160001, Republic of Kazakhstan, e-mail: 201ukgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9499-192X>

Amir Aziskhan Asimkhanuly, Engineer of the Department of «Electronics, Telecommunications and Space Technologies», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aziskhan.amir@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0007-4001-3745>

Auelbek Marat Auelbekovich, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.auyebek@kazatu.edu.kz, <http://orcid.org/0009-0005-8055-5018>

Atyaksheva Alexandra Vladimirovna, PhD, Associate professor, Energy Faculty, NJSC «Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: sahsa77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2523-3890>

Akishev Karshyga, Candidate of Technical Sciences, ass.professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Faculty of Technology, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5202-3501>

Akayev Aibek, PhD, School of architecture, civil engineering and energy, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aybek.akaev.vko_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9390-5703>

Abenova Asem Tulegenovna, senior teacher, Toraighyrov University Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asem.abenova_01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

Aitmagambetova Gulmira Askerbekkyzy, doctoral student in «Thermal power engineering, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: gul_2904@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7934-9990>

Balgabekov Toleu Kunzholovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academician of IIA, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: t.balgabekov@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-7603-0023>,

Bulatbaeva Yulia Felixovna, PhD, acting docent of Department of «Automation of manufacturing processes» Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Non-profit joint stock company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov», Karaganda, Republic of Kazakhstan, 100027, e-mail: julia_my_angel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>

Bulatbayev Felix Nazymovich, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Dean of the Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Non-profit joint stock company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov», Karaganda, Republic of Kazakhstan, 100027, e-mail: felix4965@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3574-1189>

Bekenova Dariga, Master's degree, Lecturer, University of Turan, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Daryi6a@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9302-6047>

Balgabayeva Galiya, senior teacher, Toraighyrov University Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: galia_tan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

Dyusova Rizagul Muslimovna, Candidate of Technical Sciences, postdoctoral fellow of Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: riza92@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3083-5255>

Dashevskaya Anastassiya Dmitrievna, Senior manager of the Corporate Governance and Sustainable Development Department, Samruk-Energy Joint Stock Company, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nastita1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5599-8117>

Djexembayeva Assel, PhD, Director of the Innovation Development Department of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,

010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dzhexembaveva_ave@enu.kz,
<https://orcid.org/0009-0009-6153-9580>

Elistratov Sergej, Doctor of technical sciences, associate professor, The Department of Thermal Power Plants, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, e-mail: elistratov@corp.nstu.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7803-2067>

Ybray Sultan Barlymbayuly, Senior lecturer, Energy Faculty, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Астана, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sultan_energy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5262-2149>

Zharassov Shyngys Zharassovich, PhD, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhshzh95@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>

Zhumataev Nurlybek Shakaevich, PhD, practicing teacher, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.zhumataev78@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9494-9355>

Zhumadirova Aliya Kairullova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Electrical Power Engineering Department, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhumadirova.a@teachers.tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0232-6779>

Zhalmagambetova Ultuar, PhD, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty Power engineers, Toraighyrov university, Pavlodar, 140008, Kazakhstan, e-mail: ultuara@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-2261-2222>

Zhantlessova Asemgul Beisembayevna, Acting Associate Professor, doctor PhD, Kazakh State University named after S.Seifullin, Republic of Kazakhstan, the city of Nursultan, 010008, e-mail: acbizh@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

Zhekambaeva Maygul Nesipaldievna - Ph.D., Associate Professor of the Department of «Software Engineering», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.zhekambayeva@satbayev.university,
<https://orcid.org/0000-0003-0612-6336>

Zhakupova Kamila Mukhitovna, master's student in “Computer Science and Engineering” Astana IT University, Astana, 010000, Republic of

Kazakhstan, e-mail: zhakupova.kamila@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

Ziyabek Madina Oralkhankyzy, 2nd year master's student of the educational program «Pharmaceutical production technology», South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, 160001, Republic of Kazakhstan, e-mail: ziyabekmadina@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-1069-2301>

Zhantlessova Asemgul Beisembayevna, Acting Associate Professor, doctor PhD, Kazakh State University named after S.Seifullin, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: acbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3730-0579>

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Automation of the Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Issabekov Dauren Dzhambulovich, PhD, postdoctoral fellow, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, c. Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6673-5646>

Issenov Sultanbek Sansyzbaevich, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Dean of the Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: isenov_sultan@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Issabekova Bibigul Beisembayevna, PhD, Associate Professor, Faculty of computer science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asbizh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

Isaev Valery, Candidate of Technical Sciences, Department of «Energy Systems», Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: isaevvalerie@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1187-4638>

Issabekov Zhanat Beisembayevich, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Automation of the Faculty of Energy,

Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zh_is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

Imangazinova Dinara Kenzhetaevna, doctoral student in «Electric power industry», Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dinaraigul@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Issenov Zhanat, doctoral student in «Electric power industry», Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhanat.group.pvl@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

Khussainova Aidana Baurzhanovna, Master of Technical Sciences in the specialty "Thermal Power Engineering", Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, Lomova 64, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.b.bekisheva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6032-4332>

Koshekov Kairat Temirabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Science, Civil Aviation Academy, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kkoshekov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9586-2310>

Kaverin Vladimir Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, 56 Nursultan Nazarbayev Ave., Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, kaverinkz@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Kaidagulov Daniyal Kairatovich, operator of technological installations; Pavlodar Oil Chemistry Refinery» LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan; e-mail: dis_1212@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5323-8802>

Koshekov Abay Kairatovich, Doctor PhD, Department of Aviation Engineering and Technology, Civil Aviation Academy, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.k.koshekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7373-1494>

Kurbanov Yakub Mukhsatuly, Master, Center for Scientific Research and Competence, Civil Aviation Academy, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: y.kurbanov@agakaz.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8883-600X>

Karymsakova Indira, PhD, associate professor Shakarim University, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: karymsakova.indira@mail.ru

Kozhakhmetova Dinara., PhD, Dean of the Higher School of Artificial Intelligence and Construction, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>,

Krykbaeva Maryam Sergazinovna, Acting Director of the Scientific and Innovative HUB, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: krykbaeva.m@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-7808-8650>

Komandirov Evgeniy Vitalievich, engineer of automated control systems and technical equipment, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: deluxx47@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>,

Koshumbayev Marat Bulatovich, Doctor of Technical Sciences, senior lecturer, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: marat7759@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2434-1905>

Kosparmakova Samal, Deputy Director for Quality and Logistics, Research and Production Center “ENU-Lab”, Astana, 010000, Kazakhstan, e-mail: smartsam0509@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4700-364X>

Kazambayev Ilyas Maratuly, doctoral student in “Automation and Control” NJS Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin, Astana c. Industry 4.0 Research and Innovation Center Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: i.kazambaev@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

Kosymbaev Rauan Bolatovich, master in "Electric Power Engineering", Non-profit joint stock company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov», Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: kosymbaev.r@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5439-7267>

Kamarova Saule, PhD, Department of «Energy», «Karaganda, Industrial University», Faculty of Energy, transport and control systems, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan, e-mail: cfekt.rfvfhjdf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>

Koshkinbaev Sauletbek Zholdykarauly PhD., IT and Telecommunications Sector Manager, Miras University, Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sauke49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5188-9549>

Kirichenko Lalita Nikolaevna, Junior Researcher at Scientific and Innovation Center Industry 4.0, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: lalita17021996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Madi Perizat Shaimuratovna, Candidate of Technical Sciences, Doctor PhD, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: peri@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5930-8112>

Menendez Ignacio Pidal, Doctor of Technical Sciences, Professor, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 28279, Kingdom of Spain, e-mail: Ignacio.menendezpidal@upm.es, <https://orcid.org/0000-0002-7053-1101>

Mergalimova Almagul, PhD, senior lecturer, Energy Faculty, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Астана, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>

Massakbayeva Sofya Ruslanovna, candidate of Chemical Science, associate Professor, Professor of the department «Chemistry and Chemical Technology», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: sofochka184@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

Mukhamadiev Bagdad Erbolovich, Master's student in the specialty Energy supply and automation of agriculture, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Faculty of Energy, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bagdaderbol2001@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2517-6603>

Myrkalykov Bauyrzhan, Director of the Registrar's Office, PhD, Taraz Regional University named after M. Kh. Dulaty, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Baur-phd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7224-4168>

Nurakhmetova Zhanara, PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhanaranurakhmet@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2558-8579>

Novozhilov Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Electric Power Engineering» Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Nurtai Zhadira, Doctor PhD, Associate Professor, Faculty of Technology, Kazakh University of Technology and Business after K. Kulazhanov, Astana,

010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru,
<http://orcid.org/0000-0002-0744-0389>

Novozhilov Timofey Alexandrovich, Associate Professor of the Department "Power Supply of Industrial Enterprises", Candidate of Technical Sciences, Omsk State Technical University, Omsk, 644000, Russian Federation, e-mail: timokvey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

Nesmeyanova Rimma Mikhailovna, candidate of Chemical Science, associate Professor, Professor of the department «Chemistry and Chemical Technology», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan; e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5949-4023>

Novozhilov Alexander Nikolaevich, Professor of the Department of "Electric Power Engineering", Doctor of Technical Sciences, professor (Kazakhstan), Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: novozhilova_on@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

Nikiforov Alexander Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, aleke4599@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>

Narynbayev Damir Serikovich, Master, Executive Director of the KAZENERGY Association, Astana, 010006, Republic of Kazakhstan, e-mail: d.narynbayev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9705-3420>

Neshina Elena, Candidate of Technical Science, Head of the Department of «Energy Systems», Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: 1_neg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

Nurmaganbetova Gulim Sakhitovna, Doctor PhD, senior lecturer, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g_sahitovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Ospanov Yerbol, PhD, associate professor Shakarim University, Shakarim University, Semey, 070014, Republic of Kazakhstan, e-mail: 78oea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>

Omirezak Sarah Bauyrzhankyzy, 2nd year master's student of the educational program «Pharmaceutical production technology», South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, 160001, Republic of Kazakhstan, e-mail: omirzaksarah@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2190-8049>

Pudich Natalya Nikolaevna, Senior Lecturer, Faculty of Computer Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: npudich@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6897-9235>

Ryvkina Natalya Valentinovna, Senior lecturer, Faculty of Architecture and Construction, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: rondv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4646-3348>

Sagadatova Nadezhda Zhasulanovna, Industry 4.0 Research and Innovation Center Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sagadatovanadezhda@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2349-6465>

Sarmanova Almagul Myrzakhanovna, Master's student in the specialty "Energy supply and automation of agriculture, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: almaaguull@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4130-3673>

Sarsikeev Ermek Zhaslanovich, PhD, Head of the Department. Department, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsikeev.ermek@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

Seitenova Gaini, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gainiseitenova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6202-3951>

Smailov Nurzhigit Kuralbaevich, PhD., Professor of the Department of «Electronics, Telecommunications and Space Technologies», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.smailov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Sagyndyk Aigerim Bekenkyzy, PhD, postdoctoral fellow, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiko_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

Segeda Tamara, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, School of architecture, civil engineering and energy, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tsegeda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2279-8570>

Tyulyugonova Lyazzat Baltabayevna, doctoral student in “Electrical Engineering Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: leonard7@internet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

Tazhakhmetov Baktiyar Tairovich, Masters student, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: baha_tt@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6964-5663>

Taran Nikolay Yuryevich, doctoral student in the specialty «Electric Power Engineering» Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov", Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: 1814n97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7852-714X>

Titkov Vasily Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, 195251, Russian Federation, e-mail: titkovprof@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6763-8688>

Tumenov Aslan, Aurum Bytes LLP, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aslan.tumenov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-1222-0202>

Tyulyugonova Lyazzat Baltabayevna, doctoral student in “Electrical Engineering Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: leonard7@internet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7632-3098>

Talipov Olzhas Manarbekovich, PhD, Dean of the Faculty of Energy, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: talipov1980@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Tanovitsky Yuri Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Department of Science, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: y.tanovitski@agakaz.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5217-1245>

Togambaev Rustam Kumarbekovich, Doctoral student, Transport and Communication Institute, Riga, LV-1019, Latvia, e-mail: r.togambayev@tsi.lv, <https://orcid.org/0000-0002-0045-5764>

Tashtay Yerlan, Candidate of technical sciences, Head of Department of «Electronics, Telecommunications and Space Technologies», Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: y.tashtay@satbayev.university,

Yesmakhanova Laura, PhD, Doctor of the Department of Automation and Telecommunications, Faculty of Technology, M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: laura060780@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

Umurzakova Anara Daukenovna, Candidate of Technical Sciences, Doctor PhD, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Granat_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7683-5256>

Ulikhina Yulia Viktorovna, Senior Lecturer, Faculty of Computer Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: pheniks25@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0255-4436>

Urazayev Dnislam Bulatovich, master's student in "Computer Science and Engineering" Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dnislam.urazayev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

Utaeva Diyara Muratovna, Laboratory assistant in a scientific project, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: utaeva18@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2839-6645>

Fandyushin Vladimir Ivanovich, Candidate of technical sciences, associate professor, Faculty of Computer Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: fan.vladimir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2130-6119>

Shimirova Zhanar Kasymbekovna, candidate of pharmaceutical sciences, associate professor of the Department of «Organization and management of the pharmaceutical business», «South Kazakhstan Medical Academy» JSC, Shymkent, 160019, Republic of Kazakhstan, e-mail: shimirova_z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9583-810X>

Shimpf Alexey Andreevich, head of the laboratories, Pavlodar, 140000,
Republic of Kazakhstan, e-mail: shimpf5329@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-4203-9117>

**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 составляет 20 000 (двадцать тысяч) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

***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; **ORCID**;

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 подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

языке казахском На	языке русском На	языке английском На
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
ORCID		
Телефон		

Информация для авторов

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайғыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 01 февраля;
- второй квартал до 01 мая;
- третий квартал до 01 августа;
- четвертый квартал до 01 ноября.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на сайт: www.vestnik-energy.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

НАО «Торайғыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение ksp.kz Платежи – Образование –Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии)»
АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKCKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

*С. К. Ант икеева¹, С. К. Ксембаева²

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: samal_antikeeva@mail.ru¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-1111-1111>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2222-2222>**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ
КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ
ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране

Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.

2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.

3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.

4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniiu i vospitaniiu (Na materiale selskikh 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 modeli 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 shkolnykh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – T. 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. Toraighyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

*С. К. Антикеева, С. К. Ксембаева

.Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды

білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

**S. K. Antikeyeva, S. K. Ksembaeva*

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
<p>Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАК, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: samal_antikeyeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-1111-1111, 8-000-000-00-00</p>	<p>Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: samal_antikeyeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-1111-1111, 8-000-000-00-00</p>	<p>Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: samal_antikeyeva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-1111-1111, 8-000-000-00-00</p>
<p>Ксембаева Сауле Камалиденовна, педагогика ғылымдарының кандидаты, профессор, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: saule_K@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2222-2222 8-000-000-00-00</p>	<p>Ксембаева Сауле Камалиденовна, кандидат педагогических наук, профессор, Факультет гуманитарных и социальных наук, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: saule_K@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2222-2222 8-000-000-00-00</p>	<p>Saule Ksembaeva, Candidate of pedagogic sciences, professor, Faculty of Humanities and Social Sciences, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: saule_K@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2222-2222 8-000-000-00-00</p>

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегии статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта

интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz