

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



TORAIGHYROV
UNIVERSITY

ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (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/>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

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

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

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

МАЗМҰНЫ
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT

Л. А. Авдеев, С. Е. Кокин, Ш. З. Телбаева

..... Исследование графиков электрической нагрузки в условиях карагандинского угольного бассейна

Азаматов М. Т., Ярославцев М. В., Талипов О. М

Спиридонов Е. А., Испулов, Н. А. ... моделирование автономной энергосистемы с накопителем и возобновляемыми источниками энергии

К. Akishev, K. Aryngazin, A. Kalkenov, Zh. Nurtai,

B. Biybosynov development of an automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment

А. К. Алина, К. К. Кадыржанов, Д. И. Шлимас, А. Н. Бергузинов,

.... Изучение влияния радиационной модификации на упрочнение в (1-х)wo3 –х2no керамиках

Әділғазы Р.А., Есенбаев С.Х., Есмұхамбет Ж.Б.,

Иванов В.А., Смагулова К.К.

Сусымалы материалды оңтайлы мөлшерлеу массалық ағынды бағалау және математикалық модельдеу

Zhalmagambetova U., Radelyuk I., Omerbayeva D., Neftissov A., Kazambayev I.

Environmental monitoring in Kazakhstan context – state-of-the-art and challenges for industrial region

S. K. Zhumazhanov, S. K. Akimzhanov, A. B. Zhanlessova

Zh. B. Issabekov, B. B. Issabekova

Mathematical modeling of non-sinusoidal modes of transmission lines

Д. Д. Исабеков, Н. Б. Исаев

Альтернативная ресурсосберегающая максимальная токовая защита

А.К. Кинжибекова, *Л.В. Дмитриенко, А.П. Плевако

..... элементный состав биоугольных брикетов из растительных отходов сельского хозяйства и отходов промышленности

А.А.Кисабекова, А.С.Красников, Г.К.Алпысова характеристики ниобата

лотеция активированного ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} - потенциального люминофора для белых светодиодов

И.О. Косяков, Г.В. Луценко

...разработка автоматизированной системы защиты данных в радиосетях на основе манипуляций с сигналом

С.М. Махмутова, А.А. Калинин

.....
Методики исследования вихревых зон в воздуховоде горнодобывающих предприятий

Б.Е. Машрапов, М.Я. Клецель, Р.М. Машрапова..... Исследование времени между срабатываниями герконов и их помехоустойчивости для построения защит параллельных линий

М.Ж. Мусагажинов, А.В. Юрченко, А.П. Кислов,

А.С. Звонцов.....

Определения ширины трещины сдвига в бетонных конструкциях с помощью распределенных волоконно-оптических датчиков

Р. М. Мустафина, Г. О. Мусекенова

..... 2020-2021 жылдарындағы қазақстандағы электр энергиясымен қамтамасыз ету индикаторлар блогының жағдайын бағалау

Г.С. Нұрмаганбетова, В.В. Каверин, С.С. Исенов,

Ғ.Ғ. Таткеева Г.А. Эм

..... Болашақта қазақстанда жел генераторлық қондырғыларды пайдалану туралы

Пирманов И.А., Кошеков К.Т., Байдилдина А.Т.,

Азаматова Ж.К. Нурғалиева А.Т.

.....Внедрения технологии digital twin в учебный процесс на примере обучения ремонту агрегатов авиационной техники

А. Б. Сағындық, А. В. Мануковский, А. А. Мануковский

..... Разработка беспроводного датчика тока и напряжения для солнечно-ветряной электростанции

А. Н. Сапарғалиева, К. Т. Баубекөв, Б. А. Биэхметов.....

Применение математического моделирования аэродинамических процессов при исследовании эффективности конструкции фронтального устройства теплогенератора

Н.Н. Саракешова, А.М. Достияров, М.С. Коробков,

А.К. Яманбекова.....

Исследование процесса горения микромодульной газовой горелки на

экспериментальном стенде при внезапном расширении на выходе

Г.К. Сыдықов, И.Б. Құлтан, Г.Б. Тлеубаева,

Ж.Т. Жүнісов, Байғабылов Ә.Б.

.....
Күн коллекторларында шағылыстырғыштарды қолдану

Symbat Manat, Vyacheslav Yugay

.....
Analysis of circuits with uniform phase shift of inverter cells

К. Н. Тайсариева, Г. С. Джебалаева, Н. Т. Исембергенөв

К.Б. Мүсілімов, А.Е. Куттыбаева..... Мульти денгейлі инвертордағы көп денгейлі (srwm) синусоидалы импульстік ендік модуляциясы

D. T. Tolegenov, M. A. Yelubay, A. V. Bogomolov,

O. Shtyka, D. Zh. Tolegenova

Prospects for the use of energy production waste in construction ceramics

Авторлар туралы ақпарат
Сведения об авторах
Information about the authors.....

Авторларға арналған ережелер
Правила для авторов
Rules for authors

Жарияланым этикасы
Публикационная этика
Publication ethics.....

МРНТИ 44.29.29

DOI

Л. А. Авдеев¹, С. Е. Кокин², *Ш. З. Телбаева¹

¹Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда;

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Российская Федерация, г. Екатеринбург;

*e-mail: tshz@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

На угольной шахте работа ведется круглосуточно, непрерывно работают много механизмов и установок. При этом периодически возникают резонансные явления, когда потребляемая суммарная мощность выходит за пределы ограничения, что может грозить наложением штрафных санкций или в худшем случае отключением электроэнергии до тех пор, пока не выравнится график электропотребления.

Система электропотребления в целом регионе или населенного пункта носит ярко выраженный периодичный характер. Существует утренний максимум (8ч-10ч., после того как электрическая нагрузка спадает, энергосистема переходит на постоянный режим работ) и вечерний максимум (18ч – 22ч, когда происходит совпадение бытовой и промышленной нагрузки, и возрастает график потребления электроэнергии). Такие графики не устраивают энергосистему, идеально было бы, когда потребление электроэнергии имеет прямую линию в течение 24 часов.

В данной статье на основе данных в часы максимума энергосистемы получены графики нагрузок для различных групп энергоприемников в летний и зимний периоды.

Для исследования режимов электропотребления необходимы суточные графики электрической нагрузки. Поэтому кривые графиков электропотребления для удобства представляют в виде ступенчатых графиков.

Также в статье рассчитаны основные характеристики суточных графиков, такие как: неравномерность графика; коэффициент заполнения графика; коэффициент максимума и годовое число часов использования максимума нагрузки.

Ключевые слова: электропотребление, режимы электропотребления, энергосистема, потребители, регулирование, часы максимума, суточные графики нагрузки, часовое потребление.

Введение

Потребности в электроэнергии и неравномерность электропотребления возрастают с каждым годом. Увеличение

напряженности электрического баланса нередко приводит к возникновению дефицита генерируемых мощностей. При этом, суточные графики нагрузки электроэнергетической системы (ЭЭС) имеют ярко выраженные пики в утренние и вечерние часы. Для ликвидации дефицита генерирующих мощностей энергоснабжающие организации вынуждены ограничивать электрические нагрузки и электропотребление промышленных предприятий. Ограничение режимов электропотребления предприятий приводит к недоотпуску электроэнергии, недовыпуску и удорожанию продукции, нарушают ритмичность работы предприятий. Перспективным направлением ликвидации дефицита генерируемых мощностей энергоснабжающей системы является уплотнение их суточных графиков электропотребления.

При проведении исследований структуры электропотребления основными методическими положениями являются:

- определение минимального количества исходных данных, необходимых для проведения оценки энергетических показателей;

- применение расчетно-статистических методов для определения прогнозных значений основных параметров электропотребления на планируемый период с использованием прогнозных моделей и предыстории статистической информации о значениях потребленной энергии и технических показателей.

Для проведения анализа энергозатрат на всех уровнях структуры электропотребления за расчетный (контрольный) интервал времени (60 мин, смена, сутки, месяц) ΔT_k необходимо иметь энергобаланс на каждом уровне и сведения об основных технологических показателях за тот же период.

Особый интерес представляют энергобалансы отдельных энергоемких потребителей, позволяющие получить информацию о потреблении энергии отдельными группами электроприемников.

Материалы и методы

Графики электрических нагрузок позволяют правильно подойти к выбору основного оборудования подстанций — трансформаторов, компенсирующих устройств, кабелей и наметить наиболее экономичный режим их работы.

В условиях действующего предприятия графики электрических нагрузок помогают выявить основные показатели электрических нагрузок, которые необходимы для проектирования электроснабжения аналогичных производств.

Суточные графики показывают изменение нагрузок в течение суток. Их строят по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии через каждый час либо каждые полчаса (для выявления получасового максимума нагрузки).

В проектировании используют типовые суточные графики, характерные для данного вида производства, в которых максимальная суточная нагрузка принята за единицу или за 100 %, а остальные нагрузки выражены в долях единицы или в процентах. Для построения конкретного суточного графика необходимо знать максимальную нагрузку и иметь типовой суточный график [1].

Поскольку основной характеристикой процесса изменения электроэнергии является его скорость $\frac{dW(t)}{dt}$, в основу анализа режимов электропотребления потребителей предлагаются графики процесса изменения активной (1) и реактивной (2) мощности:

$$P(t) = \frac{dW_a(t)}{dt} \quad (1)$$

$$Q(t) = \frac{dW_q(t)}{dt} \quad (2)$$

В инженерных расчетах и, главное, при регулировании электропотребления используют, как правило, графики, полученные дискретным осреднением непрерывного графика $P(t)$ на последовательных интервалах времени $\Delta t = T/M$, т.е. ступенчатые функции вида [3]:

$$P_{\Delta t}(t_k) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_k}^{t_k+\Delta t} P(t) dt; \quad (k-1)\Delta t \leq t_k \leq k\Delta t, \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

где M – количество интервалов осреднения.

Наиболее часто встречающиеся величины T и Δt при построении и обработке графиков нагрузки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы осреднения графиков нагрузки

Наименование графика	Продолжительности	
	реализации T	интервала осреднения Δt
Получасовой	30 мин	1-5 мин
Часовой	60 мин	5-10 мин
Сменный	6-8 часов	10-30 мин

Суточный	24 часа	30-60 мин
Месячный	30 суток	24 часа
Годовой	365 суток	1 месяц

Очевидно, что с увеличением T информативность графика увеличивается, а с увеличением Δt точность получаемых на его основе характеристик графика снижается. Обычно графики строятся с использованием показаний счетчиков электрической энергии на основе расчетов по формуле [3]:

$$P_{\Delta t} = W_{a\Delta t} / \Delta t \quad (4)$$

где $W_{a\Delta t}$ – количество электроэнергии, потребленной за время Δt .

Под максимумом нагрузки P_m понимают максимальное из средних значений нагрузки на интервале некоторой продолжительности θ .

Количество потребленной электроэнергии W_a за время t при известном графике $P(t)$ электроприемника определяют по общеизвестной формуле:

$$W_a(t) = \int_0^t P(t) dt \quad (5)$$

Таким образом, процесс изменения электроэнергии описывается неубывающей функции времени. Однако на практике часто применяют другой способ представления информации о процессе изменения $W_a(t)$ – характеризуют его на последовательных интервалах θ путем последовательного интегрирования графика $P(t)$, в результате чего получают последовательность [3]:

$$W_{a\theta}(t_k) = P_R(t)\theta; (R - 1)\theta \leq R\theta, \quad R = 1, 2, \dots M, \quad (6)$$

график которой совпадает с графиком $P_R(t)$ (с учетом изменения масштаба по оси ординат). Графики такого типа дают возможность оценивать неравномерность процесса потребления электроэнергии [2; 4].

В практике регулирования электропотребления находит применение третий способ графического представления процесса потребления электроэнергии $W(t)$ – график получасового потребления, получаемый из графика $P(t)$ последовательным интегрированием его по формуле (4) в пределах от 0 до θ . Графики такого типа приведены на рисунке 1.

Режим электропотребления характеризуется суточными графиками электрической нагрузки. Форма графиков нагрузок энергосистемы определяется характеристиками потребителей электроэнергии [5; 6].

Основными характеристиками суточных графиков являются [7; 8; 9]:

- неравномерность графика (отношение минимальной ночной загрузки к максимальной):

$$\alpha_n = \frac{P_{min}}{P_{max}};$$

(7)

- коэффициент заполнения графика (отношение среднесуточной нагрузки к минимальной):

$$\gamma_z = \frac{P_{cp}}{P_{max}};$$

(8)

- коэффициент максимума:

$$K_m = \frac{P_{max}}{P_{cp}}$$

(9)

- годовое число часов использования максимума нагрузки:

$$h = \frac{\mathcal{E}_{год}}{P_{max}};$$

(10)

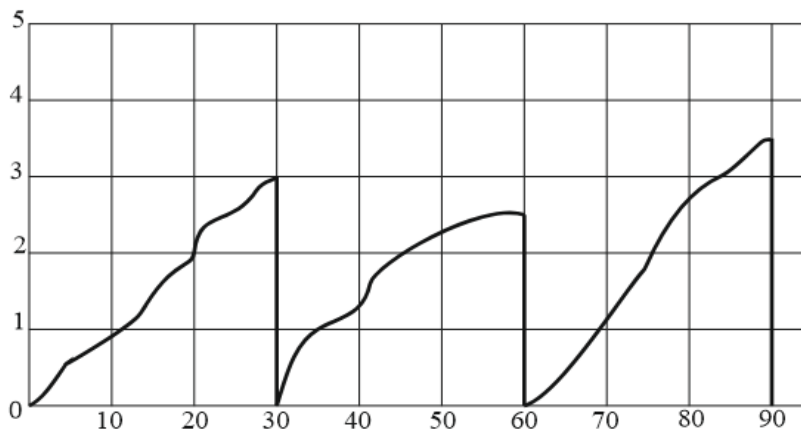
где $\mathcal{E}_{год}$ – годовое число потребленной электроэнергии;

P_{max} – годовой максимум нагрузки.

На рисунке 2 представлена структура электропотребления Карагандинского региона (максимальная нагрузка).

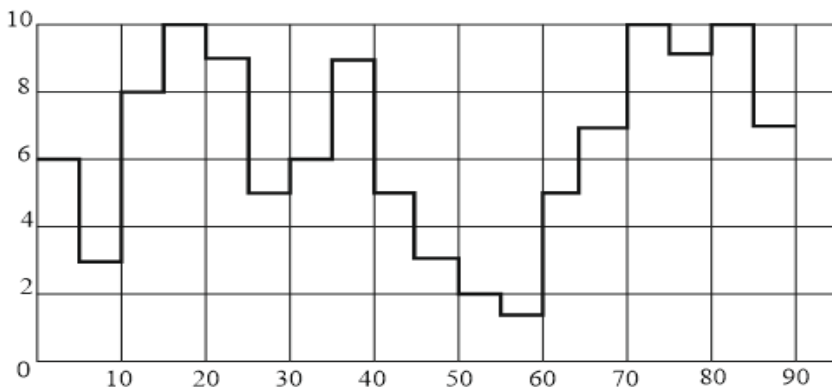
На рисунке 3-4 представлены графики нагрузки энергосистемы, промышленности и электротяги в летние и зимние периоды.

$W_{a0}(t)$, МВт*ч



б)

$P(t)$, МВт



а)

Рисунок 1 – График $P(t)$ (а) и соответствующий ему график $W_{a0}(t)$ (б) получасового расхода (потребления) электроэнергии

По этим графикам были найдены их средние значения, которые представлены в таблице 2, и на основе них были получены суммарные зимние и летние графики нагрузок, которые представлены на рисунках 5-7.



Рисунок 2 - Структура электропотребления Карагандинского региона (максимальная нагрузка)

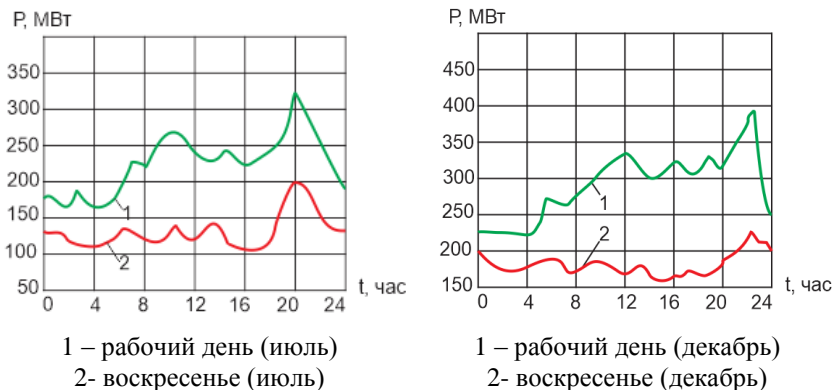
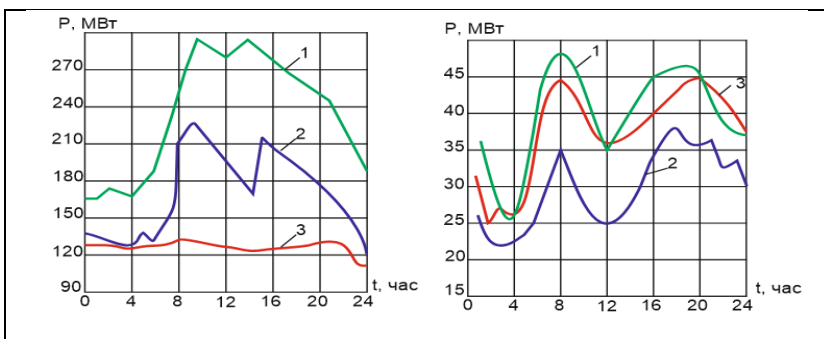


Рисунок 3 – График нагрузки энергосистемы



1- раб. день (зима); 2 – раб. день (лето); 3 – воскресенье (зима)

а) промышленность

б) электротяга

Рисунок 4 – График нагрузки промышленности и электротяги

Таблица 2 – Средние значения зимних и летних показателей электрической нагрузки (суточные)

Энерго-приемники	Средние значения электрической нагрузки, МВт												
	Энергосистема:												
Раб.день (лето)	180	175	166	202	233	263	223	224	222	253	309	233	200
Воскр. (лето)	133	116	115	133	118	129	129	123	110	141	192	142	133
Раб. день (зима)	220	220	222	265	279	316	325	305	317	324	333	342	275
Воскр. (зима)	192	167	176	176	174	177	173	163	167	166	192	216	208
	Промышленность												
Раб.день (зима)	165	170	174	204	269	290	288	290	275	258	245	234	200
Воскр. (лето)	137	131	134	140	219	215	188	195	201	191	170	152	134
Воскр. (зима)	129	129	129	129	134	131	128	125	126	128	129	125	114
	Электротяга												
Раб.день (зима)	35	27	29	43	48	41	36	42	46	47	44	38	38
Воскр. (лето)	27	23	23	28	34	27	26	29	36	37	37	33	32
Воскр. (зима)	32	26	28	39	44	39	37	38	41	44	44	42	39
Часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

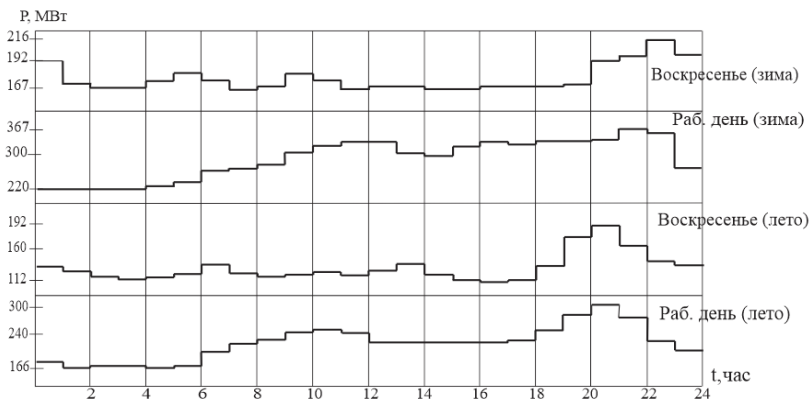


Рисунок 5 – Ступенчатый график нагрузки энергосистемы

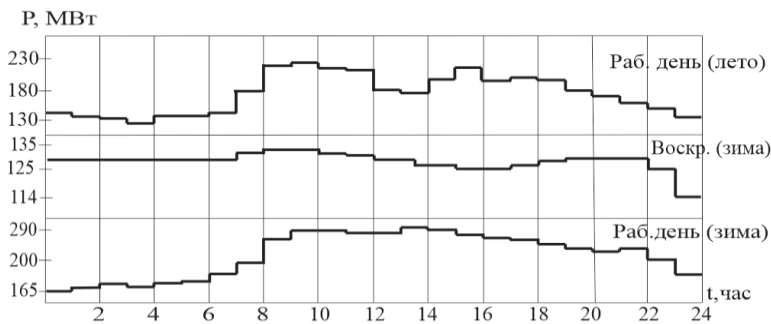


Рисунок 6 – Ступенчатый график нагрузки промышленности

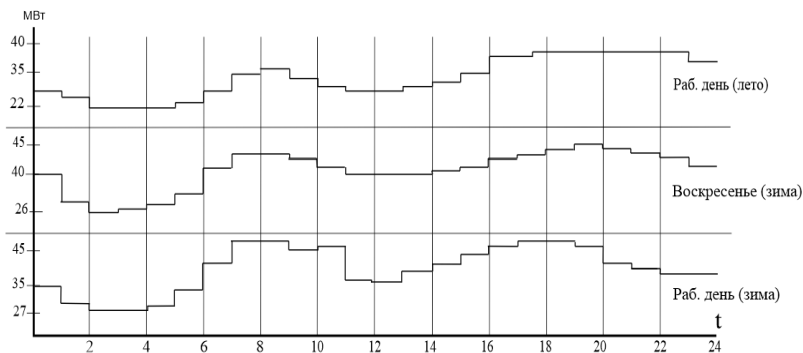


Рисунок 7 – Ступенчатый график нагрузки электротяги

Результаты и обсуждение

Несмотря на то, что нагрузка энергосистемы складывается из нагрузок большого числа различных по характеру потребителей, выравнивания суточного (и годового) графиков нагрузок не происходит. Графики нагрузки энергосистем обычно имеют вид два явно выраженных пика – утренний и вечерний.

Между утренним и вечерним пиками находится зона некоторой относительно сниженной нагрузки и более глубокое снижение (провал) имеет место в течение 6-8 ночных часов [2; 4].

В таблице 3 представлены основные показатели суточных графиков электропотребления.

На рисунке 8 представлен суммарный график максимальной нагрузки по группам основных потребителей энергосистемы.

Развитие производств с непрерывными технологическими процессами способствует выравниванию графика нагрузки энергосистемы, однако повышение удельного веса бытового и коммунального электропотребления, а также перевод ряда производств на односменную работу увеличивает неравномерность графика нагрузок энергосистемы [10].

Эти тенденции характерны для всех развитых промышленных стран. Однако за счет различного рода регулировочных мероприятий, в том числе и в промышленном секторе электропотребления, удается замедлить и в некоторых случаях приостановить процесс разуплотнения графиков энергосистем [5].

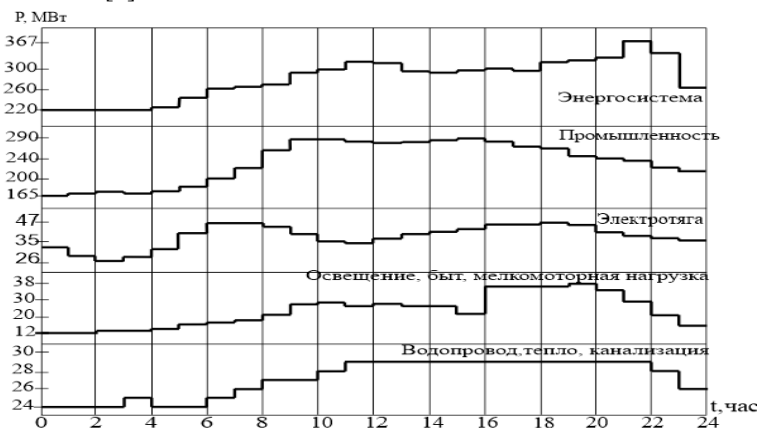


Рисунок 7 - Суммарный график максимальной нагрузки по группам основных потребителей энергосистемы

Таблица 3 – Основные показатели суточных графиков электропотребления

Группа потребителей электрической энергии	Основные характеристики графиков электропотребления					
	Р _{ср} , МВт	Р _{min} , МВт	Р _{max} , МВт	α_n	К _м	γ_z
Энергосистема:						
- раб. день (лето)	222	166	317	0,52	1,43	0,70
- раб. день (зима)	287	220	383	0,57	1,33	0,75
- воскресенье (лето)	132	110	200	0,55	1,52	0,66
- воскресенье (зима)	179	160	216	0,74	1,21	0,83
Промышленность:						
- раб. день (зима)	236	165	294	0,56	1,24	0,80
- раб. день (лето)	170	123	228	0,54	1,34	0,75
- воскресенье (зима)	127	108	135	0,80	1,06	0,94
Электротяга:						
- раб. день (зима)	39	26	48	0,54	1,23	0,81
- раб. день (лето)	30	21,5	37	0,58	1,25	0,80
- воскресенье (зима)	37	25	45	0,56	1,21	0,83
Освещение, быт, мелкомоторная нагрузка:						
- раб. день (зима)	23	11,2	39,2	0,29	1,68	0,59
- раб. день (лето)	12	1,2	21,6	0,06	1,77	0,56
- воскресенье (зима)	18	8	29,2	0,27	1,63	0,62
Водопровод, тепло, канализация:						
- раб. день (зима)	27	23,1	29,4	0,79	1,09	0,92
- раб. день (лето)	23	19,8	25,8	0,77	1,11	0,90
- воскресенье (зима)	19	15,9	21,9	0,73	1,13	0,89

Годовое число часов использования максимума нагрузки составляет:

- для энергосистемы: 19 524 часов;
- для промышленности: 60 часов;
- для электротяги 55 часов;
- для бытовой нагрузки (освещение, быт, мелкомоторная нагрузка):

34 часа;

- для водопровода, тепла и канализации: 58 часов.

Выводы

Таким образом, несмотря на то, что нагрузка энергосистемы складывается из нагрузок большого числа различных по характеру потребителей, выравнивания суммарного суточного (и годового) графиков нагрузок не происходит.

Графики нагрузки энергосистемы и потребителей имеют, как правило, два явно выраженных пика – утренний и вечерний. Между утренними и вечерними пиками находится зона некоторой относительно сниженной нагрузки и более глубокое снижение (провал) имеет место в течение 6-8 ночных часов.

Развитие производств с непрерывными технологическими процессами способствует выравниванию графиков нагрузок, однако повышение удельного веса бытового и коммунального электропотребления, а также перевод ряда производств на односменную работу увеличивают неравномерность графика нагрузок энергосистемы.

Список использованных источников

1. Графики электрических нагрузок. [Электронный ресурс]. – URL: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/680-grafiki-jelektricheskikh-nagruzok.html>
2. Выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы. [Электронный ресурс]. – URL: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=16623>
3. **Пилюгин, А. В.** Экономика электроэнергетики: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / А. В. Пилюгин [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2018. - 358 с.
4. **Manusov, V.Z., Orlov, D.V., Karmanov, V.S., Khusnutdinov, A.O., Ivanov, G.V.** Analysis of methods of electricity consumption forecasting for a coal industry enterprise. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1045(1), 012035.
5. Характеристики графиков нагрузки и напряжения. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pue8.ru/uchet-elektroenergii/integralnye-xarakteristiki-grafikov-nagruzki-i-napryazheniya>.
6. **Сташкевич, Е. В.** Разработка математических моделей и методов координации суточных режимов систем электроснабжения и потребителей: диссертация кандидата технических наук: 05.14.02 / Сташкевич Е.В. [Место защиты: Институт систем энергетики им.Л.А.Мелентьева СО РАН, <http://sei.irk.ru/dissert/council>].- Иркутск, 2015.- 140 с.
7. **Matrenin, P.V., Arestova, A.Yu., Antonenkov, D.V.** Medium-Term Hourly Electricity Tariff Forecasting Using Ensemble Models | Prognosa pe

termen mediu a tarifelor orare de energie electrică folosind modele de ansamblu. Problems of the Regional Energetics, 2022, 2(54), pp.26–37.

8. **Силаев, В. И.** Анализ графика электропотребления горного предприятия / В. И. Силаев, М. Т. Плиева // СНК-2020 : материалы Юбилейной LXX открытой международной студенческой научной конференции Московского Политеха, Москва, 21–24 апреля 2020 года. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский политехнический университет", 2020. – С. 445-448.

9. **Капустин, С. Д., Поляков, И. А.** Выравнивание графиков электрических нагрузок энергосистем. В сборнике: Электроэнергетика. транспорт, надежность и учет. сборник статей научно-технической конференции. Редакционная коллегия: С. Н. Приб, С. О. Хомутов, И. А. Гутов. 2012. С. 100-103.

10. **Титаренко, О. Н.** Анализ способов выравнивания суточных графиков нагрузки. Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4. № 3. С. 67-73.

11. **Минакова, Т. Е.** Инновационные организационные решения энергосбережения. Синергия Наук. 2016. № 6. С. 490-498.

12. **Manusov, V., Orlov, D., Karmanov, V., Kokin, S., Safaraliev, M.** Analysis of electricity consumption forecasting methods for the coal industry. Przegląd Elektrotechniczny, 2022, 98(9), pp.26–31.

References

1. Grafiki elektricheskikh nagruzok [Graphs of electrical loads]. [Elektronnyj resurs].– URL: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/680-grafiki-jelektricheskikh-nagruzok.html>.

2. Vyravnivanie grafika elektricheskoy nagruzki energosistemy [Alignment of the electrical load schedule of the power system] [Elektronnyj resurs]. URL: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=16623>.

3. **Pilyugin, A. V.** Ekonomika elektroenergetiki: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchihsya po napravleniyu "Elektroenergetika i elektrotehnika" [Economics of electric power industry: textbook for university students studying in the direction of "Electric power and electrical engineering"] / A.V. Pilyugin [et al.]. - 3rd ed., reprint. and additional - Stary Oskol : TNT, 2018. - 358 p.

4. **Manusov, V.Z., Orlov, D.V., Karmanov, V.S., Khusnutdinov, A.O., Ivanov, G.V.** Analysis of methods of electricity consumption forecasting for a coal industry enterprise. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1045(1), 012035.

5. Charakteristiki grafikov nagruzki i napryazheniya [Characteristics of load and voltage graphs]. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://pue8.ru/uchet-energoresursov/integralnye-xarakteristiki-grafikov-nagruzki-i-napryazheniya>.

6. **Stashkevich E.V.** Razrabotka matematicheskikh modelej i metodov koordinacii sutochnyh rezhimov sistem elektrosnabzheniya i potrebitelej: dissertaciya kandidata tekhnicheskix nauk: 05.14.02 / Stashkevich E.V. [Development of mathematical models and methods of coordination of daily modes of power supply systems and consumers: dissertation. Candidate of Technical Sciences: 05.14.02 / Stashkevich E.V.]. [Place of defense: L.A.Melentyev Institute of Energy Systems SB RAS, <http://sei.irk.ru/dissert/council>]. – Irkutsk, 2015. – 140 p.

7. **Matrenin, P.V., Arestova, A.Yu., Antonenkov, D.V.** Medium-Term Hourly Electricity Tariff Forecasting Using Ensemble Models | Prognosa pe termen mediu a tarifelor orare de energie electrică folosind modele de ansamblu. Problems of the Regional Energetics, 2022, 2(54). – pp.26–37.

8. **Silaev, V. I.** Analiz grafika elektropotrebleniya gornogo predpriyatiya / V. I. Silaev, M. T. Plieva // SNK-2020 : materialy YUbilejnoy LXX otkrytoj mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii Moskovskogo Politekhha [Analysis of the schedule of power consumption of a mining enterprise / V. I. Silaev, M. T. Plieva // SNK-2020 : materials of the Jubilee LXX open international Student Scientific Conference of the Moscow Polytechnic University, Moscow] April 21-24, 2020. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University", 2020. – pp. 445-448.]

9. **Kapustin, S. D., Polyakov, I. A.** Vyravnivanie grafikov elektricheskix nagruzok energosistem. [Alignment of graphs of electrical loads of power systems.] In the collection: Electric power industry. transport, reliability and accounting. collection of articles of the scientific and technical conference. Editorial Board: S. N. Prib, S. O. Khomutov, I. A. Gutov. 2012. – pp.100-103

10. **Titarenko, O. N.** Analiz sposobov vyravnivaniya sutochnyh grafikov nagruzki. Energeticheskie ustanovki i tekhnologii [Analysis of ways to equalize daily load schedules.] Power plants and technologies. 2018. Vol. 4. No. 3. pp.67-73.

11. **Minakova, T. E.** Innovacionnye organizacionnye resheniya energosberezheniya. Sinergiya Nauk. [Innovative organizational solutions for energy saving. Synergy of Sciences.] 2016. No. 6. pp. 490-498.

12. **Manusov, V., Orlov, D., Karmanov, V., Kokin, S., Safaraliev, M.** Analysis of electricity consumption forecasting methods for the coal industry. Przegląd Elektrotechniczny, 2022, 98(9), pp.26–31.

Л. А. Авдеев¹, С. Е. Кокин², *Ш. З. Телбаева¹

¹Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

²ЖБ ФМАББМ «Ресейдің Тұңғыш Президенті Б. Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті, Ресей Федерациясы, Екатеринбург қ.

ҚАРАҒАНДЫ КӨМІР БАССЕЙНІ ЖАҒДАЙЫНДА ЭЛЕКТР ЖҮКТЕМЕСІНІҢ ГРАФИКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Көмір шахтасында жұмыс тәулік бойы жүргізіледі, көптеген механизмдер мен қондырғылар үздіксіз жұмыс істейді. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда резонанстық құбылыстар пайда болады, мұнда тұтынылатын жалпы қуат шектен асып кетеді, бұл айыппұл салуға немесе жоқ деген жағдайда электр қуатын тұтыну кестесі теңестірілгенге дейін электр қуатын өшіруге қауіп төндіруі мүмкін.

Жалпы өңірде немесе елді мекенде электр тұтыну жүйесі айқын мерзімді сипатқа ие. Олар таңертеңгі максимум (8-10 сағат аралықтары, электр жүктемесі төмендегеннен кейін, электр жүйесі қайта тұрақты жұмыс режиміне ауысады) және кешкі максимум (18–22 сағат аралықтары, тұрмыстық және өндірістік жүктеме сәйкес келген кезде және электр энергиясын тұтыну графигі өскен кезде) деп аталады. Мұндай графиктер электр жүйесін қанағаттандырмайды, егер электр энергиясын тұтынуы 24 сағат ішінде түзу сызыққа ие болған кезде өте қолайлы болар еді.

Бұл мақалада энергия жүйесінің максимум сағаттарындағы мәліметтер негізінде жазғы және қысқы кезеңдердегі энергия қабылдағыштардың әртүрлі топтары үшін жүктеме графиктері алынды.

Электр тұтыну режимдерін зерттеу үшін тәуліктік электр жүктемесінің графиктері қажет. Сондықтан ыңғайлы болу үшін электр тұтыну графиктерінің қисықтары сатылы графиктер түрінде ұсынылады.

Сонымен қоса, мақалада тәуліктік графиктердің келесі негізгі сипаттамалары есептелген: графиктің біркелкі еместігі; графикті толтыру коэффициенті; максимум коэффициенті және максималды жүктемені пайдалану сағаттарының жылдық саны.

Кілттік сөздер: *электр тұтыну, электр тұтыну режимдері, электр жүйелері, тұтынушылар, реттеу, максималды сағаттар, тәуелділік жүктеме графиктері, сағаттық тұтыну.*

Л. А. Avdeyev¹, S. E. Kokin², Sh. Z. Telbayeva^{1*}

¹Karaganda Technical University named after Abylas Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda,

²State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin», Russian Federation, Ekaterinburg k.,

RESEARCH OF ELECTRIC LOAD SCHEDULES IN THE CONDITIONS OF THE KARAGANDA COAL BASIN

A coal mine is a round-the-clock industry, with many machines and plants in continuous operation. At the same time, there are periodic resonance situations when the total power consumption exceeds the limits, which may result in fines or, in the worst case, power outages until the power consumption schedule is equalized.

The consumption pattern of an entire region or locality is distinctly periodic. There is a morning maximum (8h-10h, after the electric load decreases, the power system switches to a constant mode of operation) and an evening maximum (18h-22h, when the household and industrial load coincide and the schedule of electric power consumption increases). Such schedules do not suit the power system, it would be ideal when the electricity consumption has a direct line during 24 hours.

In this paper, based on the data during the peak hours of the power system, load schedules for different groups of power consumers in summer and winter periods are obtained.

Daily electric load schedules are required for the research of power consumption modes. Therefore, the curves of power consumption schedules are presented in the form of step graphs for convenience.

The article also calculates the main characteristics of daily schedules, such as: irregularity of the schedule; coefficient of schedule filling; maximum coefficient and annual number of hours of maximum load consumption.

Keywords: *power consumption, power consumption modes, power system, consumers, regulation, peak hours, daily load schedules, hourly consumption.*

МРНТИ 44.39.03

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

***М. Т. Азаматов¹, М. В. Ярославцев¹, О. М. Талипов¹, Е. А. Спиридонов², Н. А. Испулов¹**

¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар * e-mail: muratazamatov@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Российская Федерация, г. Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С НАКОПИТЕЛЕМ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

В работе предложена вероятностная модель, описывающая совместную работу источников и потребителей энергии в составе автономной энергосистемы с питанием от возобновляемых источников энергии. Рассмотрены факторы, возникающие в процессе выработки энергии солнечными панелями, влияние географического положения оборудования. Модель на основании данных метеорологических наблюдений учитывает движение солнца, облачность и силу ветра для расчета мощности источников энергии.

Предложенная модель позволяет определить мощность источников энергии автономной энергосистемы, а также энергоёмкость и мощность накопителя энергии. С её помощью может быть исследовано влияние на характеристики источников энергии погодных условий, соотношения между мощностью источников и энергоёмкостью накопителя энергии, технических характеристик источников энергии и других факторов.

Исследование режимов потребления в разрезе времени суток и сезонности даёт возможность применения оптимальных методов управления нагрузкой и определения максимальных и минимальных значений потребления. Полученная модель системы позволит сравнить эффективность применения возобновляемых источников и накопителя энергии в автономной энергетической системе для различных регионов и за различные годы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, накопитель энергии, автономная энергетическая система, солнечная электростанция, ветровая электростанция.

Введение

В настоящее время в энергетическом секторе проводятся

значительные структурные реформы для обеспечения всеобщего доступа к недорогой энергии для всех. [1] Что еще более важно, энергетическая система трансформируется путем интеграции различных традиционных и возобновляемых источников энергии в широкий спектр мощностей. [2] Эффективное использование энергии солнца и ветра позволит ускорить переход к использованию устойчивых технологий. [3]

Интеграция ветровой и солнечной энергии в энергетические системы позволит решать следующие технические задачи:

- размещение возобновляемых источников энергии в местах, где они могут обеспечить большую ценность для системы (например, вблизи мест наибольшего спроса);

- диверсификация источников энергии: солнечная (фотоэлектрическая), ветровая энергия и накопитель энергии;

- региональная интеграция с другими источниками. Это увеличение доли энергии местного производства для местного потребления. В качестве примера можно привести применение станций солнечных панелей и ветрогенераторов и накопителей энергии. Это снижает потребность в инвестициях в распределительные сети;

- интегрированное планирование, мониторинг и управление. Стоимость и объемы производства различных технологий выработки электроэнергии динамично меняются. В результате оптимальная производственная структура также меняется течением времени и требует регулярной корректировки.

Интегрированное планирование важно для обеспечения согласованной работы различных источников генерации, систем передачи и распределения электроэнергии, систем управления спросом, систем хранения энергии и других систем, и должно включать решение следующих актуальных вопросов в новых условиях:

- учет возможности производства электроэнергии за счет энергии ветра и солнца;

- интегрированное планирование систем генерации, передачи и распределения электроэнергии;

- планирование и эксплуатация сетей низкого и среднего напряжения с учетом развития распределенной генерации. [4; 5]

Для совместного определения характеристик источников энергии в составе локальной автономной или частично автономной энергосистемы необходимо учитывать влияние на них большого количества факторов, к которым относятся:

- для солнечной электростанции – географическое положение оборудования, движение Солнца, погодные условия (облачность), время суток и сезонность;

- аналогично для анализа выработки энергии ветрогенератором,

необходимо определить влияние погодных условий (силы ветра), времени суток и сезонности.

Итак, исходя из вышесказанного определены задачи:

- разработать модель, позволяющую получить зависимости мощности вырабатываемой и потребляемой электроэнергии от времени с учетом перечисленных факторов.

- определить мощности солнечной и ветровой электростанций с учетом неравномерности выработки и потребления;

- получить графики выработки и потребления энергии системой, что позволит определить неравномерность выработки и потребления, а также проверить достаточность запаса энергии накопителя.

Материалы и методы

В работе создана модель, описывающая взаимодействие возобновляемых источников энергии и накопителей энергии в автономной энергетической системе для небольших сельскохозяйственных комплексов. Взаимодействие источников энергии и потребителя показано на функциональной схеме (рисунок 1).

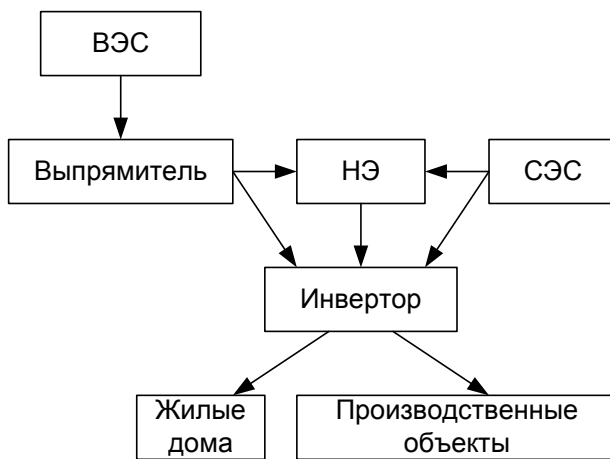


Рисунок 1 – Функциональная схема системы. На схеме обозначены: СЭС – солнечная электростанция, ВЭС – ветровая электростанция, НЭ – накопитель энергии.

В качестве источников энергии использованы ветровая и солнечная электростанции. В качестве расчетного объекта выбран сельскохозяйственный комплекс – небольшое поселение с 19 единицами сельских производственных потребителей и 95 жилыми домами. Размер комплекса выбран так, чтобы в нем были представлены несколько

производственных объектов с различными суточными графиками нагрузки. По данным [6, 7] установлено, что максимальная потребляемая комплексом полная мощность составляет 3 МВА. Составлены среднесуточные графики активной и полной мощности для различных времен года, показанные на рисунке 2.

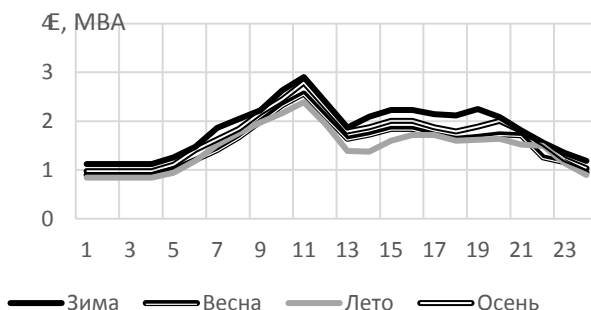


Рисунок 2 – Полная расчетная мощность сельскохозяйственного объекта.

В качестве источников электроэнергии рассмотрены ветровая и солнечная электростанции. Номинальная мощность солнечной электростанции принята равной 7 МВт, а номинальная мощность ветрогенераторной электростанции 6 МВт. При такой мощности вырабатываемая в течение года энергия покрывает потребность рассматриваемого комплекса.

Мощность производимой электроэнергии ветровой и солнечной электростанции, зависят от погодных условий и местоположения. Основными данными о погоде и местоположении принята Павлодарская область. Данные о погоде взяты для метеостанции 36003, расположенной в аэропорте Павлодара. [8]

Для анализа энергии, получаемой от солнечных панелей и ветрогенератора, взяты данные за 2022 год. Шаг времени расчета составляет 30 минут в соответствии с данными метеорологической станции.

Влияние облачности на выработку энергии солнечной электростанцией (СЭС) учтено на основании работы [9], где показано, что при 100% облачности мощность СЭС сокращается до 10%. В расчете принято, что вырабатываемая мощность сокращается пропорционально повышению уровня облачности.

Освещенность солнечной панели в определенное время зависит от

азимута и высоты солнца, а также от угла наклона солнечной панели. Для определения положения солнечного угла к рабочей поверхности панели, необходим астрономический расчет азимута A и высоты S солнца.

Высота солнца S – угол между прямой, соединяющий центр солнца с текущим положением, и касательной плоскостью. На рассвете и закате он должен быть равен нулю.

Азимут A – это отклонение от севера, отсчитываемое по часовой стрелке. Значения азимута и высоты солнца определены по выражениям

$$S = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos HRA),$$

$$A = \arccos(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos HRA),$$

где φ – широта, $\delta = \arcsin(\sin(23.45^\circ) \cdot \sin(360/365 \cdot (d - 81)))$ – склонение солнца, HRA – местное солнечное время, переведенное в градусы (4 минуты соответствуют 1 градусу). [10; 11; 12]

Для прогнозирования годового производства энергии и выходной мощности ветрогенератора применяется кривая мощности ветра. Мощность ветрогенератора имеет колебания, вызванные изменчивостью направления и скорости ветра. Кривая мощности, полученная статистическими методами, дает усредненную зависимость вырабатываемой мощности от скорости ветра.

Кривая мощности ветра, выражается нелинейной зависимостью между скоростью ветра и фактической выходной мощностью. [13; 14; 15; 16] На кривой можно выделить три участка. При малой скорости ветра вырабатываемая мощность пропорциональна квадрату его скорости. На втором участке вырабатываемая мощность постоянна и определяется максимальной мощностью генератора. Наконец, при скорости ветра выше 18 м/с генератор должен быть отключен по требованиям безопасности. При создании модели мощности ветровой электростанции принята пропорциональной мощности одного генератора, которая описывается кривой, показанной на рисунке 3.

Результаты и обсуждение

В результате расчета выработки энергии солнечными панелями и ветрогенератором были получены недельные графики для различных сезонов, которые показаны на рисунках 4 – 7.

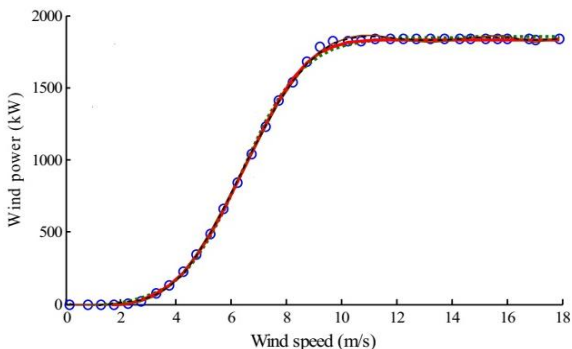


Рисунок 3 – График, зависимости мощности генератора от силы ветра

Из-за нелинейности производимой и потребляемой электроэнергии необходимо постоянно управлять мощностью источников для выравнивания нагрузки между производством электроэнергии и потреблением. В этом случае наиболее эффективным способом будет накопление излишков производимой электроэнергии системой накопления электроэнергии.

Важнейшими характеристиками, определяющими выбор накопителя энергии, являются его энергоемкость и мощность. В модели принято, что преобразование энергии при заряде и при разряде накопителя происходит со средним КПД, равным 90%. Запас энергии накопителя рассчитывается численным интегрированием разности вырабатываемой и потребляемой мощности.

В модели заложено ограничение на максимальную величину заряда накопителя. Недельные графики запаса энергии для различных сезонов показан на рисунке 8. Максимальный заряд накопителя ограничен 250 МВт·ч, перед началом эксплуатации накопитель считается полностью заряженным.

Полученная модель позволяет решать следующие задачи:

- определять требования к мощности возобновляемых источников энергии;
- определять энергоемкость и мощность накопителя;
- исследовать целесообразность получения энергии из внешней энергосистемы;
- определить оптимальный угол наклона солнечных панелей;
- определять номинальную мощность ветроэнергетических и солнцезенергетических установок;

- сравнить эффективность применения внешних источников электроэнергии в различных регионах и за различные годы.

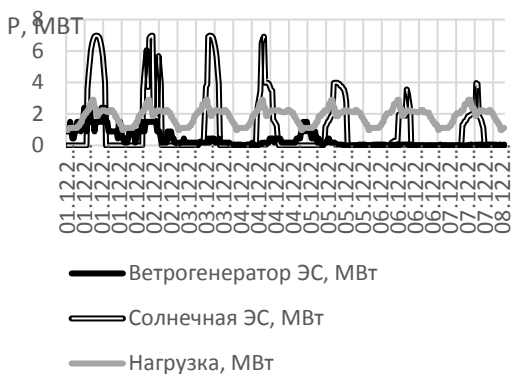


Рисунок 4 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в зимний сезон



Рисунок 5 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в весенний сезон

Рисунок 6 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в летний сезон

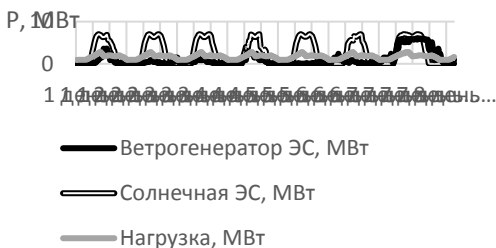


Рисунок 7 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в осенний сезон

Выводы

Предложенная модель описывает совместную работу возобновляемых источников энергии и накопителя энергии в автономной энергетической системе. Модель учитывает процесс получения энергии от солнечных панелей и ветрогенератора и её накопление, положение солнца к солнечной панели, нелинейную зависимость мощности ветрогенератора от силы ветра, влияние времени суток и сезонности как на процесс выработки энергии, так и на процесс потребления энергии.

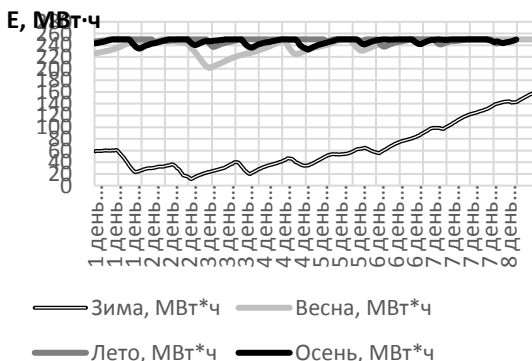


Рисунок 8 – График зависимости энергоёмкости накопителя

При помощи разработанной модели выполнен расчет мощности,

потребляемой автономной системой электроснабжения сельскохозяйственного комплекса номинальной мощностью 3 МВт. Показано, что при установленной мощности солнечной электростанции 7 МВт, а ветровой 6 МВт обеспечивается круглогодичная бесперебойная работа комплекса при установке накопителя энергии энергоемкостью 250 МВт·ч. Результаты моделирования показали, что величина суточных колебаний запаса энергии накопителя находится в пределах 30 МВт·ч в течение года, в то время как величина недельных колебаний изменяется от 50 МВт·ч в летний период до 200-250 МВт·ч в зимний.

Очевидно, что вклад солнечной электростанции в выработку энергии в зимний период значительно ниже, чем в летний. В то же время, моделирование показало, что полный отказ от солнечной энергии даже в зимнее время нецелесообразен, так как потребует непропорционально большого увеличения не только мощности ветровой электростанции, но и энергоемкости накопителя.

В развитие работы планируется повысить точность моделирования за счет более детального рассмотрения потерь энергии, а также выполнить сравнение эффективности применения возобновляемых источников энергии для различных регионов Казахстана.

Список использованных источников

- 1 2020 Smart Grid System Report // US Department of Energy – 2020. – URL: https://www.energy.gov/search/site?keywords=Grid+Modernization+and+Smart+Grid&sort_by=search_api_relevance (дата обращения: 07.02.2024).
- 2 Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all / J.Wu, T., Wu // un.org – 2015. – № 4. – URL: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22193> (дата обращения: 06.02.2024).
- 3 Sustainable Development Agenda // UN – 2020. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/> (дата обращения: 07.02.2024).
- 4 IRENA : Innovation landscape for a renewable-powered future [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nangs.org/analytics/irena-innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future-february-2019-eng-pdf> (дата обращения: 06.02.2024).
- 5 **Опадчий, Ф.** Ответы на глобальные вызовы можно найти только совместно [Электронный ресурс] : Газета Энергетики и промышленность России – 2019. – № 18 (374) – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/374/9315497.htm> (дата обращения: 07.02.2024)
- 6 **Будзко, И. А.** Электроснабжение сельского хозяйства: учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / Будзко, И. А.,

Лещинская, Т. Б., Сукманов, В. И. – М. : Колос, 2000, с. 20-47

7 **Федоров, А. А.**, Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов / Федоров, А. А., Ристхейн, Э. М. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.

8 Расписание погоды [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B5 (дата обращения: 07.02.2024).

9 **Suri, M., Sebecauer, T., Skoczek, A., Marais, R., Mushwana, C., Reinecke J., Meyer R.** Cloud cover impact on photovoltaic power production in South Africa [Электронный ресурс] – Academia, 2020 – Режим доступа: https://www.academia.edu/14259100/CLOUD_COVER_IMPACT_ON_PHOTOVOLTAIC_POWER_PRODUCTION_IN_SOUTH_AFRICA (дата обращения: 07.02.2024).

10 Сферическая астрономия: учеб. пособ. для студентов 1 курса / Физический факультет Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина – Екатеринбург, 2011 – 88 с.

11 **Машонкина, Л. И.** Задачи и упражнения по общей астрономии: методическое пособие к практикуму по Общей Астрономии / Машонкина, Л. И., Сулейманов, В. Ф.; Физический факультет Казанского Государственного Университета ФЦП Интеграция. Наземная астрономия – Казань, 2002.

12 **Кравченко, Е. В., Кравченко, В. П., Ткачева, Е. Н.** Определение оптимального угла наклона солнечного коллектора в зависимости от длительности работы в течение года / Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. Vol. 52. - Iss. 1. - pp. 35-41. DOI:10.21691/ret.v52i1.37.

13 **Wang, Z. M., Wang, X., Liu, W. M.** Genetic least square estimation approach to wind power curve modelling and wind power prediction. – 2023. Vol. 9188. - Iss. 13 DOI:10.1038/s41598-023-36458-w.

14 **Hagspiel, S., Papaemannouil, A., Schmid, M. & Andersson, G.** Copula-based modeling of stochastic wind power in Europe and implications for the Swiss power grid / Energy. – 2012 Vol. 96, - pp. 33–44. DOI:10.1016/j.apenergy.2011.10.039.

15 **Tapar, V., Agnihotri, G. & Sethi, V. K.** Critical analysis of methods for mathematical modelling of wind turbines. / Renew. Energy – 2011. Vol. 36. - pp. 3166–3177. DOI:10.1016/j.renene.2011.03.016.

16 **Xu, K.** Quantile based probabilistic wind turbine power curve model. / Energy – 2011 Vol. 296. DOI:10.1016/j.apenergy.2021.116913.

References

- 1 2020 Smart Grid System Report // US Department of Energy – 2020. – URL: https://www.energy.gov/search/site?keywords=Grid+Modernization+and+Smart+Grid&sort_by=search_api_relevance (date of the application : 07.02.2024).
- 2 Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all / J.Wu, T., Wu // un.org – 2015. – № 4. – URL: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22193> (date of the application : 06.02.2024).
- 3 Sustainable Development Agenda // UN – 2020. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/> (date of the application : 07.02.2024).
- 4 IRENA : Innovation landscape for a renewable-powered future [Electronic resource]. – Access mode : <https://nangs.org/analytics/irena-innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future-february-2019-eng-pdf> (date of the application : 06.02.2024).
- 5 **Opadchi, F.** Otveti na globalnie vizovi mozhno naiti tolko sovместno [Answers to global challenges can only be found together] [Electronic resource] : Gazeta Energika i promychlenost Rossii – 2019. – № 18 (374) – Access mode : <https://www.eprussia.ru/epr/374/9315497.htm> (date of the application : 07.02.2024).
- 6 **Budzko, I. A.** Electrosnabzhenie selskogo hozhaistva : uchebniki i uchebnie posobia dla studentov vishih uchebniх zavadeni [Electricity supply for agriculture : textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions] / Budzko, I. A., Lechinckaya T. B., Sukmanov, V. I. – Moscow : Kolos, 2000, p. 20-47.
- 7 **Fedorov, A. A.,** Electrosnabzhenie promichlennikh predpriyati : ucheb. dla vuzov [Power supply of industrial enterprises: studies. for universities] / Fedorov, A. A., Ristkhein, E. M. – Moscow : Energiya, 1980. - 360 p.
- 8 Raspisanie pogody [Electronic resource] – Access mode : http://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B5 (date of the application : 07.02.2024).
- 9 **Suri, M., Cebecauer, T., Skoczek, A., Marais, R., Mushwana, C., Reinecke J., Meyer R.** Cloud cover impact on photovoltaic power production in South Africa [Electronic resource] – Academica, 2020 – Access mode : https://www.academia.edu/14259100/CLOUD_COVER_IMPACT_ON_PHOTOVOLTAIC_POWER_PRODUCTION_IN_SOUTH_AFRICA (date of the application : 07.02.2024).
- 10 Spherichkaya astronomia ucheb. posobie dla studentov 1 kursa

[Spherical Astronomy : a textbook for 1st year students] / Fizik faculsiiti Ural federal universitet imeni pervogo prezidenta Rossi B. N. El'sina – Ekaterinburg, 2011 – 88 p.

11 **Machonkina L. I.** Zadachi i uprazhneniya po obchi astonomii: metodicheskoe posobie k praktikumu po obchi astonomii [Tasks and exercises in general astronomy: a methodological guide to the workshop on General Astronomy] / Machonkina L. I., Suleimanov V. F.; Fizik faculsiiti Kazanskogo Gosudarstvenogo Univesiteta FPZ Interraziya. Nazemnaya astonomiya – Kazan, 2002.

12 **Kravchenko, E. V., Kravchenko, V. P., Tkacheva, E. N.** Opredelenie optimal'nogo ugla naklona solnechnogo kollektora v zavisimosti ot dlitel'nosti raboty` v techenie goda [Determination of the optimal angle of inclination of the solar collector depending on the duration of operation during the year] / Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. Vol. 52. - Iss. 1. - pp. 35-41. DOI:10.21691/ret.v52i1.37.

13 **Wang, Z. M., Wang, X., Liu, W. M.** Genetic least square estimation approach to wind power curve modelling and wind power prediction. – 2023. Vol. 9188. - Iss. 13 DOI:10.1038/s41598-023-36458-w.

14 **Hagspiel, S., Papaemanoil, A., Schmid, M. & Andersson, G.** Copula-based modeling of stochastic wind power in Europe and implications for the Swiss power grid / Energy. – 2012 Vol. 96, - pp. 33–44. DOI10.1016/j.apenergy.2011.10.039.

15 **Tapar, V., Agnihotri, G. & Sethi, V. K.** Critical analysis of methods for mathematical modelling of wind turbines. / Renew. Energy – 2011. Vol. 36. - pp. 3166–3177. DOI:10.1016/j.renene.2011.03.016.

16 **Xu, K.** Quantile based probabilistic wind turbine power curve model. / Energy – 2011 Vol. 296. DOI:10.1016/j.apenergy.2021.116913.

***М. Т. Азаматов¹, М. В. Ярославцев¹, О. М. Талипов¹, Е. А. Спиридонов², Н. А. Исполуов¹**

¹Торайгыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті" ФГБОУ, Ресей Федерациясы, Новосибирск қ.

АВТОНОМДЫ ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІН САҚТАУ ЖӘНЕ ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІМЕН МОДЕЛЬДЕУ

Жұмыста жаңартылатын энергия көздерінен қуат алатын автономды энергия жүйесі құрамындағы энергия көздері мен тұтынушылардың бірлескен жұмысын сипаттайтын ықтималдық моделі ұсынылған. Күн панельдерінің энергия өндіру процесінде пайда болатын факторлар,

жабдықтың географиялық орналасуының әсері қарастырылады. Метеорологиялық бақылау деректеріне негізделген Модель энергия көздерінің қуатын есептеу үшін Күннің қозғалысын, бұлттылықты және желдің күшін ескереді.

Ұсынылған модель автономды энергия жүйесінің энергия көздерінің қуатын, сондай-ақ энергия сыйымдылығы мен энергия сақтау қуатын анықтауға мүмкіндік береді. Оның көмегімен ауа-райының энергия көздерінің сипаттамаларына, энергия көздерінің қуаты мен энергияны сақтау сыйымдылығы арасындағы қатынастарға, энергия көздерінің техникалық сипаттамаларына және басқа факторларға әсерін зерттеуге болады.

Тәулік уақыты мен маусымдық тұрғысынан тұтыну режимдерін зерттеу жүктемені басқарудың оңтайлы әдістерін қолдануға мүмкіндік береді және тұтынудың максималды және минималды мәндерін анықтау. Алынған есептеу моделі сыртқы жаңартылатын көздер мен энергия жинақтағышты автономды энергетикалық жүйеде әртүрлі аймақтар мен жылдар бойы қолданудың тиімділігін салыстыруға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия көздері, энергияны сақтау, автономды Энергетикалық жүйе, күн электр станциясы, жел электр станциясы.

*** M. T. Azamatov¹, M. V. Yaroslavtsev¹, O. M. Talipov¹, E. A. Spiridonov², N. A. Ispulov¹**

¹Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

MODELING OF AN AUTONOMOUS POWER SYSTEM WITH STORAGE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

The paper proposes a probabilistic model describing the joint work of energy sources and consumers as part of an autonomous energy system powered by renewable energy sources. The factors arising in the process of energy generation by solar panels, the influence of the geographical location of the equipment are considered. Based on meteorological observations, the model takes into account the movement of the Sun, cloud cover and wind strength to calculate the power of energy sources.

The proposed model makes it possible to determine the power of energy sources of an autonomous power system, as well as the energy intensity and power of an energy storage device. With its help, the influence of weather conditions on the characteristics of energy sources, the ratio between the power of sources and the energy intensity of an energy storage device, the technical

characteristics of energy sources and other factors can be studied.

The study of consumption modes in the context of time of day and seasonality makes it possible to apply optimal load management methods and determining the maximum and minimum consumption values. The resulting calculation model will allow comparing the efficiency of using external renewable sources and an energy storage device in an autonomous energy system for different regions and over different years.

Keywords: renewable energy sources, energy storage, autonomous energy system, solar power plant, wind power plant.

IRNTI 50.49.02;50.43.19;44.39.01;87.21.02

***К. Akishev¹, К. Aryngazin², А. Kalkenov¹,
Zh. Nurtai¹, В. Biybosynov³**

¹Kazhach University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Department of «Information Technology», Republic of Kazakhstan, Astana.

²Toraigyrov University, Department of «Architecture and Design», Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

³Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Department of «Applied Informatics», Republic of Kyrgyzstan, Bishkek

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING AND MOVEMENT OF WIND TURBINE EQUIPMENT

The number of operating wind farms in the world is growing year by year. Kazakhstan annually increases the number of wind turbines, which currently stands at more than 200.

In this regard, today there is a problem related to the need to develop programs that allow solving problems related to the accounting and movement of wind farm equipment.

This task must be solved primarily due to the large number of equipment requiring replacement, repair and maintenance.

The presented article describes the developed program "Automated information system for accounting and movement of wind farm equipment in wind farms of the Republic of Kazakhstan".

The program database contains all the basic equipment and automation used in the operation of wind turbines.

The program stores data about the equipment of each wind turbine with the coordinates of the location of the latter, which can be provided online from any access point.

The program is developed in the MS SQL management studio, C# software environment. The program menu is quite informative and ergonomic.

The developed program can be used for practical purposes in companies engaged in the operation of wind farms.

The difficulty in creating a common database on wind turbine equipment in Kazakhstan lies in the heterogeneity of wind turbine equipment, since suppliers are different manufacturers, and both public and private companies are engaged in operation.

Nevertheless, an algorithm of the program is currently being developed using machine learning methodology, which allows updating the database on wind turbines based on information from any open sources.

Keywords: automated information system, management, accounting, program, data, efficiency, wind turbine.

Introduction

To date, according to [1], 341,000 wind turbines have been installed on our entire planet.

Wind turbines operate on the principle of maximizing the use of wind power, which in this case acts as a source of primary energy. By rotating the blades, they generate kinetic energy, and the generator then converts this kinetic energy into electrical energy.

The amount of energy a wind farm can produce depends on the location, size of the turbines and the length of their blades.

According to WindEurope, in 2021, European wind farms generated 437 terawatt-hours (TWh) of electricity, covering an average of 15% of demand, although in several countries this exceeded 20% of electricity coverage, for example, in Portugal (26%), Spain (24%) and Germany (23%) [2].

Currently, there are the following types of wind turbines [3]:

- terrestrial, they are the most common, located on land at least 3 kilometers from the coast and are fed by ground air currents. The advantage of this location is its easy accessibility and proximity to the power grid;
- coastal, located on land, but less than 3 kilometers from the coast, can use both onshore and offshore winds to produce energy;
- structures are being built in the open sea a few miles from the coast, while the wind force is greater, at a lower altitude and more uniform than on land.

Table 1 shows the data on wind farms operating in Kazakhstan for the period 2020 [4; 5; 6; 7; 8].

The first wind farm in Kazakhstan, launched in Yerementau, Akmola region, 2013. Currently, 22 wind turbines are in operation, each with a capacity of 2 MW. Capacity expansion is expected to double.

In the city of Kokchetav, the installation of wind turbines is carried out by a private investor, and installation continues today.

The increase in the number of wind farms increases the requirements associated with high-quality operation of equipment, monitoring and timely replacement of failed sets of equipment.

Work related to the accounting and movement of wind farm equipment should be carried out on an ongoing basis.

To date, the 1C program is used for accounting and movement of equipment, which does not provide the functionality necessary for high-quality and reliable control of complex equipment installed on wind turbines. In this

regard, the relevance of the study lies in the need to develop an automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment.

Table 1- Locations of wind farms

№	Place	Name	Company	Power Mwt	Year	Location
1	1	СЭС Нұра	Hevel Kaz	100	2020	Ақм. рег
2	1	СЭС Nurgisa	Eneverse Kunkuat	100	2019	Алм.рег
3	1	VES Zhanatas	ZhES	100	2020	Zham, рег
4	1	Ses SH-100	M-Kat green	100	2019	Zham, рег
5	1	Ses Saran	SES Saran	100	2019	Kar.рег
6	1	VES technology	VET	100	2019	Атыр.рег
7	2	Astana Expo	Green energy	50	2017	Astana
8	1	VES Kaskelen	Mistral energy	50	2020	Алм.рег
9	1	VES Uk-50	UK SES-50	50	2020	Uk.рег
10	1	SES Kentay	Hevel Kaz	50	2020	Turk.рег
11	2	SES Burnoe	Burnoe	50	2017	Zham, рег
12	1	SES Agadyr	Kaz Sapar	50	2019	Kar.рег
13	2	SES Baykonyr	Boykonyr solar	50	2019	Kyzyl.рег
14	1	SES KZT	KZT Solar	50	2021	Turk.рег
15	1	SES Ybrai	Zhol electric	50	2021	Kost.рег
16	1	SES Badamsha	Arm Wind	48	2021	Akt.рег
17	2	SES Erementay	1 WES	45	2015	Ақм. рег

To achieve this goal, it is necessary:

- to develop an information logical model of an "automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment";

- create a database of the "automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment", which includes equipment, components, electrical appliances, automation, control equipment, including transmission.

Materials and methods

When developing the program "Automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment", the following methods were used:

- methods of logical and physical design.

- IDEFIX notation.

Programs:

- Visualstudio,

- With#;

- Windows Form;

- MS SQL management studio.

The program is written in Russian.

Results and discussion

This publication does not consider the creation of an information-logical model, as it is described in another publication. Fig.1 shows the ILM (information and logical model) of the "Automated information system for accounting and moving a wind turbine".

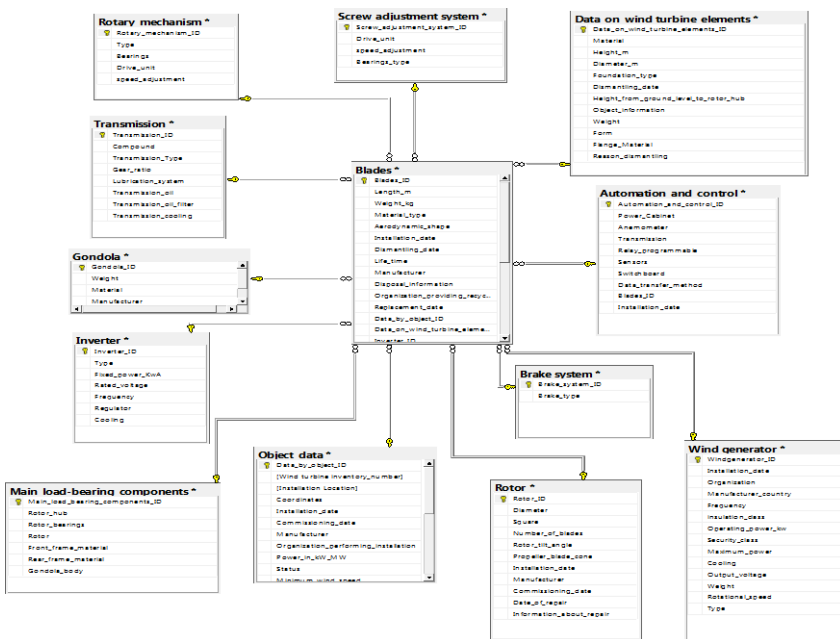


Fig. 1. ILM "Automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment"

Presented, ILM, provides, definition of entities, attributes for each entity, relationships between entities. Fig. 2 shows the main components of the wind farm.

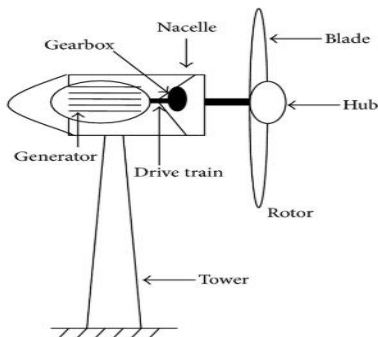


Fig 2. The main components of the wind turbine

The main nodes of the wind turbine include:

- a gondola in which a wind generator, brakes, sensors and other auxiliary equipment are installed;
- the tower in which all automation and control transmission are located, cable –growth with cables, control cables;
- rotor blades of a wind turbine;
- the foundation.

Let's consider the functionality of the program. The program is started using a batch file WindPowerApp.exe Fig. 3.

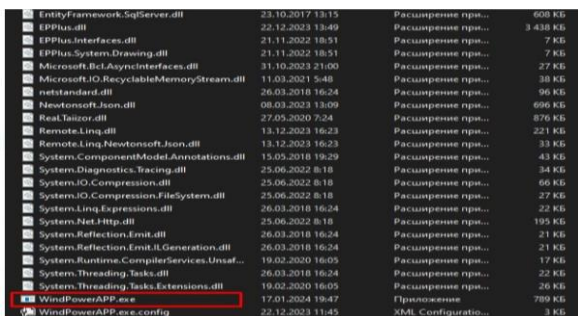


Fig. 3. The command file of the program

Fig.4, shows the main menu of the program.



Fig.4. The main menu of the program

The following operations are located on the left side of the menu:

- list of tables;
- optional;
- the weather.

Clicking on the "List of tables" menu opens access to all tables, both for filling in and receiving reports.

The blades of the wind turbine are not subject to repair and must be disposed of after a service life of 15-20 years, Fig. 5 shows a table with data on the blades.

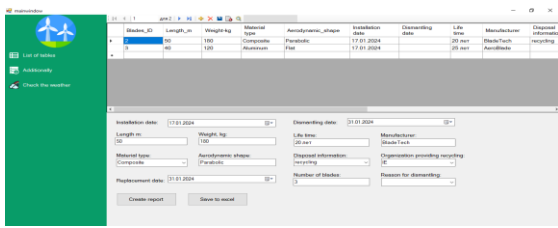


Fig.5. Table with data on wind turbine blades

One of the most important information is object data, which contains information such as installation location, coordinates, inventory number, installation date, etc., Fig.6.

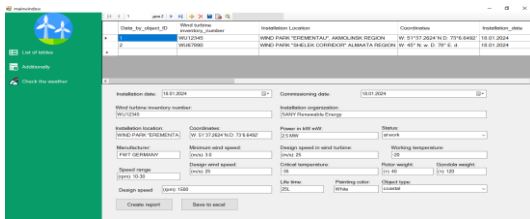


Fig. 6. Object data.

In this table, the data on the time of installation of the blade and its service life are important. The program has the ability to send an alarm when the control dates expire.

In real time, we can find out information about wind and air temperature anywhere in the world Fig.7.

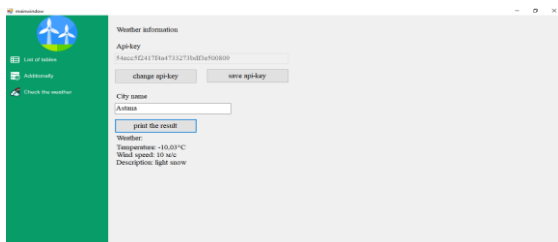


Fig.7. Weather Information

The program allows you to receive reports in Excel, save, forward and print Fig. 8.

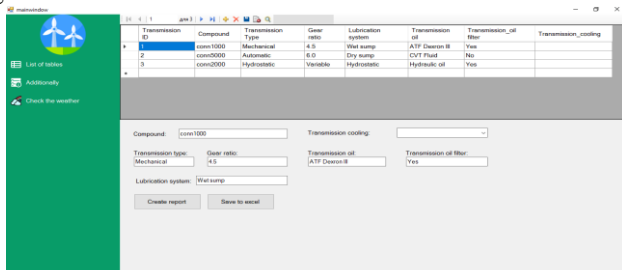


Fig. 8. Generating reports

It is possible to convert reports to excel.

Conclusions

The developed program "Automated information system for accounting and movement of wind turbine equipment" is designed to:

- automate the process of accounting and moving equipment;
- exclusion of the influence of the human factor in making managerial decisions;
- storing and receiving data on the nomenclature and serial numbers of equipment online;
- provision of data on the location of the facility and equipment;
- timely informing the staff about the need to dispose of equipment with expired service life.

To date, software is installed as part of wind turbines during installation, the functionality of which is limited by monitoring the physical condition of a node, which does not ensure the effectiveness of managing wind farms [9-14], in particular at a significant distance from the control point.

REFERENCES

- 1 Here's how much of a difference they're actually making. [Electronic resource].-<https://gwec.net/there-are-over-341000-wind-turbines-on-the-planet-heres-how-much-of-a-difference-theyre-actually-making/>.
- 2 How do we harness wind energy. [Electronic resource].-<https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/future-of-the-world/wind-farms/index.cshtml>.
- 3 **Akischev, K.** Avtomatika i sistemi upravleniya vozobnovlyаемimi istochnikami energii [Automation and control systems for renewable energy sources]: [Text]:study guide, Lantar books, Almaty, 2023.–124 P.
- 4 V top voshli 4 obe'kta. [Electronic resource].-<https://kz.kursiv.media/2022-06-27/v-top-20-obektov-vie-voshli-chetvye-novv-h-proekta/>.
- 5 Vetrovie stancii generiruyut 45% energii.[Wind farms generate 45% of the energy]:[Electronic resource].-<https://kapital.kz/economic/87654/vetrya-nyye-stantsii-generiruyut-45-elektroenergii-vie.html#:~:text=%D0%9F%D0%BE%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%BC%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%2C%20%D0%B2%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D1%89%D0%B5%D0%B5%D1%83%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%201655%20%D0%9C%D0%92%D1%82>.
- 6 Potencial vetroenergetiki v Kazakhstane v 10 raz previshaeb energiiu.[The potential of wind energy in Kazakhstan is 10 times higher than energy] : [Electronic resource].-<https://www.eurasian-research.org/publication/potential-of-wind-energy-in-kazakhstan/?lang=ru>.
- 7 Kak Kazakhstan razvivaeb vozobnovlyаемie istochniki energii.[How Kazakhstan is developing renewable energy sources]:[Electronic resource]:[Access mode].-<https://petrocouncil.kz/kak-kazahstan-razvivaet-vozobnovlyаемye-istochniki-energii/>.

- B8%D0%BD%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%2C%20%D0%B2%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D1%89%D0%B5%D0%B5,%D1%83%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%201655%20%D0%9C%D0%92%D1%82.
- 6 Потенциал ветроэнергетики в Казахстане в 10 раз превышает энергию. [Электронный ресурс].- <https://www.eurasian-research.org/publication/potential-of-wind-energy-in-kazakhstan/?lang=ru>.
 - 7 Как Казахстан развивает возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс].- <https://petrocouncil.kz/kak-kazakhstan-razvivaet-vozobnovlyаемые-istochniki-energii/>.
 - 8 Выработка энергии от ВИЭ за 2021год. [Электронный ресурс].- <https://kz.kursiv.media/2022-04-13/vyrobotka-elektroenergii-na-vie-za-2021-god-vyroslo-pochti-na-tret/>.
 - 9 David, Christie. Optimising land use for wind farms. // Energy for Sustainable Development. 2012,16(4). – P.471–475 <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.005>.
 - 10 **Alain, Bensoussan, Alexandre, Brouste.** Optimal Bidding in Wind Farm Management. //Econ papers.2020, (3).–P.1–13 <https://www.intechopen.com/chapters/69620>.
 - 11 **Xue, Zhou.** Sustainable Operation and Maintenance of Offshore Wind Farms Based on the Deep Wind Forecasting. //MDPI. 2023, (16).–P.1–26. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/1/333>.
 - 12 Jason, Staggs. Wind farm security : attack surface, targets, scenarios and mitigation.// International Journal of Critical Infrastructure.2017, 17.–P.3–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2017.03.001>.
 - 13 Johan, Meyers. Wind farm flow control: prospects and challenges. // Wind Energy Science.2022,7. – P. 2271–2306. <https://doi.org/10.5194/wes-7-2271-2022>.
 - 14 Jonathan, Whale. A mini-review of end-of-life management of wind turbines: Current practices and closing the circular economy gap. //Waste management and research .2022, 40(12).– P.1714–1730. <https://doi.org/10.1177/0734242X221105434>

*К. М. Акишев¹, К. Арынгазин², А. Калкенов¹, Ж. Нуртай¹, Б. Бийбосынов³

¹Казахский университет технологий и бизнеса имени К. Кулажанова, кафедра «Информационные технологии, Республика Казахстан, г. Астана

²Торайгыров университет, кафедра «Архитектура и дизайн», Республика Казахстан, г. Павлодар

3Кыргызский Государственный университет имени И. Арабаева, кафедра «Прикладная информатика», Республика Кыргызстан, г. Бишкек

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА И ДВИЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ УСТАНОВОК

Количество работающих ветровых станций растет в мире год от года. Казахстан ежегодно наращивает количество ветровых установок, которое в настоящее время составляет более 200. Ветровые установки объединенные в ветровые парки, требуют постоянного контроля в части управления параметрами оборудования, передачи выработанной электрической энергии в сеть, обеспечения передачи корректных данных с датчиков, измерительной аппаратур. Если программами, участвующими в контроле за показаниями автоматики и приборов, ветровые установки обеспечены на высоком уровне, то программная часть обеспечивающая учет, движение оборудования, для замены, ремонта и т. д, практически отсутствует.

В этой связи на сегодняшний день, существует проблема, связанная с необходимостью разработки программ, позволяющих решить задачи, по учету и движению оборудования ветровых установок. Данная задача, требует решения прежде всего в связи о с большим количеством оборудования, которое требует замены, ремонта и обслуживания.

В представленной статье, представлена разработанная программа «Автоматизированная информационная система учета и движения оборудования ветровых установок». В базе данных программы размещены все основное оборудование, автоматика используемая в работе ветровой установки.

Программа, хранит данные по оборудованию, каждой ветроустановки, с координатами размещения последней, которые могут быть предоставлены в режиме онлайн, из любой точки доступа.

Программа разработана в программной среде MS SQL management studio, С#. Меню программы достаточно информативно и эргономично. Разработанная программа может быть использована для практических целей в компаниях занимающих эксплуатацией ветровых станций.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, управление, учет, программа, данные, эффективность, ветровая установка.

***К. М. Акишев¹, К. Арынгазин², А. Қалқенов¹, Ж. Нұртай¹,**

Б. Бийбосынов³

¹ Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технологиялар және бизнес университеті, "Ақпараттық технологиялар, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

² Торайгыров университеті, "сәулет және дизайн" кафедрасы, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

³ И. Арабаев атындағы Қырғыз мемлекеттік университеті, "Қолданбалы информатика" кафедрасы, Қырғызстан Республикасы, Бішкек қ.

**ЖЕЛ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ
МЕН ЕСЕПКЕ АЛУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН
АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ**

Әлемде жұмыс істейтін жел станцияларының саны жылдан жылға артып келеді. Қазақстан жыл сайын жел қондырғыларының санын көбейтіп келеді, ол қазіргі уақытта 200-ден асады. Жел парктеріне біріктірілген жел қондырғылары жабдықтың параметрлерін басқару, өндірілген электр энергиясын желіге беру, датчиктерден, өлшеу аппаратураларынан дұрыс деректерді беруді қамтамасыз ету бөлігінде тұрақты бақылауды талап етеді. Егер автоматика мен аспаптардың көрсеткіштерін бақылауға қатысатын бағдарламалармен жел қондырғылары жоғары деңгейде қамтамасыз етілсе, онда есепке алуды, жабдықтың қозғалысын, ауыстыру, жөндеу және т.б. қамтамасыз ететін бағдарламалық бөлім іс жүзінде жоқ.

Осыған байланысты, бүгінгі таңда жел қондырғылары жабдықтарының есебі мен қозғалысы бойынша міндеттерді шешуге мүмкіндік беретін бағдарламаларды әзірлеу қажеттілігіне байланысты проблема бар. Бұл міндет, ең алдымен, ауыстыруды, жөндеуді және техникалық қызмет көрсетуді қажет ететін көптеген жабдықтарға байланысты шешуді талап етеді.

Ұсынылған мақалада "жел қондырғылары жабдықтарының қозғалысы мен есепке алудың автоматтандырылған ақпараттық жүйесі" әзірленген бағдарламасы ұсынылған. Бағдарламаның мәліметтер базасында барлық негізгі жабдықтар, жел қондырғысының жұмысында қолданылатын автоматика бар.

Бағдарлама кез-келген кіру нүктесінен онлайн режимінде ұсынылуы мүмкін соңғы орналастыру координаттарымен жабдық, әрбір жел қондырғысы бойынша деректерді сақтайды.

Бағдарлама бағдарламалық ортада әзірленген MS SQL management studio, бірге#. Бағдарлама мәзірі жеткілікті ақпараттық және эргономикалық.

Әзірленген бағдарлама жел станцияларын пайдаланатын компанияларда практикалық мақсаттар үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: автоматтандырылған ақпараттық жүйе, басқару, есепке алу, Бағдарлама, деректер, тиімділік, жел қондырғысы.

МРНТИ 54.548.4

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

**А. К. Алина¹, *К. К. Кадыржанов¹, Д.И. Шлимас¹,
А. Н. Бергузинов²**

¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана;

²Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: kadyrzhhanov1945@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ НА УПРОЧНЕНИЕ В $(1-x)WO_3 - xZnO$ КЕРАМИКАХ

В данной работе представлены результаты исследований, связанных с изучением влияния облучения низкоэнергетическими ионами He^{2+} с флюенсами от 10^{14} до 10^{16} ион/см², выбор которых обусловлен возможностями внесения в приповерхностный слой структурных искажений, вызванных результатов взаимодействия ионов с кристаллической структурой, при этом исключая эффект формирования гелиевых пузырьков, возникающих в облученных материалах при высоких концентрациях имплантированного гелия. В качестве объектов для исследований были выбраны микрокомпозитные керамики, выбор которых обусловлен перспективами применения их в качестве конструкционных материалов для ядерной энергетики. Также для сравнения были выбраны образцы WO_3 керамик, перемолотые и отожженные при тех же условиях термического отжига, что и $(1-x)WO_3 - xZnO$ керамики. В ходе определения влияния облучения на изменение прочностных характеристик было установлено, что наиболее оптимальным флюенсом облучения, приводящим к максимальному эффекту упрочнения является 5×10^{15} ион/см². При этом анализ изменения структурных характеристик в зависимости от флюенса облучения позволил установить двухфакторный механизм изменения, связанных с доминированием деформационных искажающих напряжений растягивающего типа при флюенсах облучения $10^{14} - 5 \times 10^{15}$ ион/см², и увеличением вклада накопления дефектной фракции, оказывающей негативное влияние на разупрочнение при флюенсе облучения 10^{16} ион/см².

Ключевые слова: радиационные дефекты, упрочнение, твердость, устойчивость, материалы для ядерной энергетики, вольфраматы, ионная модификация.

Введение

Вольфраматы представляют собой класс минералов, в структуре которых встречаются анионы WO_4^{2-} , наличие которых играет весьма важную роль в определении типа вольфраматов (моновольфраматы, полиаольфраматы, гетерополивольфраматы), а также области их применения.

Интерес к использованию полупроводниковых фотокатализаторов для фотокаталитического разложения органических красителей или же генерации водорода с помощью солнечного света обусловлен возможностями снижения себестоимости утилизации данных красителей, а также развитием дешевых экологических технологий разложения достаточно устойчивых к классическим способам утилизации органических красителей. При этом сам процесс фотокатализа основан на разложении данных красителей на безвредные составляющие, что позволяет не только снизить уровень загрязнения сточных вод, но и создать достаточно дешевые технологии утилизации [1,2]. Использование вольфраматов в данном направлении позволяет не только расширить спектр их применения, но и за счет возможностей вариации их структурных, оптических и электронных свойств, а также высоких показателей устойчивости к внешним воздействиям позволяет создать высокую конкуренцию классическим фотокатализаторам (в основе которых используется диоксид титана).

Одним из потенциальных способов повышения устойчивости фотокатализаторов на основе вольфраматов, а также изменению их ширины запрещенной зоны, с целью ее уменьшения для возможности использования большего светопоглощения (в особенности в области видимого света), является метод ионной модификации приповерхностных слоев [1; 2; 3]. Интерес к данному направлению обусловлен в первую очередь возможностями внесения необходимых изменений на заданной глубине приповерхностного слоя, который играет наибольшую важность в процессах адсорбции и последующей генерации носителей заряда, а также наиболее подвержен внешнему воздействию при длительном контакте с красителями, а также водными средами, изменение уровня кислотности (pH) которых может негативно сказаться на устойчивости фотокатализаторов и сохранению их производительности [5; 6].

Возможность применения методов ионной модификации приповерхностных слоев материалов, не смотря на достаточно высокую себестоимость и сложность в проведении, является одним из наиболее привлекательных методов модификации свойств материалов [7; 8], позволяющих повысить их устойчивость к внешним воздействиям за счет формирования высокодефектного слоя [8; 9], снижающего скорость деградации при длительной эксплуатации материалов, а также изменяя их электронные и структурные свойства.

Материалы и методы

Синтез образцов микрокомпозитных $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик был осуществлен с применением метода механохимического твердофазного перемалывания с последующим термическим отжигом, применяемым с целью инициализации процессов фазовых трансформаций, направленных на получение фазы вольфрамата цинка (ZnWO_4). Для получения $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик использовались оксид вольфрама (WO_3) и оксид цинка (ZnO), химическая чистота которых составляла 99.95 %. Исходные компоненты были приобретены у компании Sigma Aldrich (Sigma, США). Размеры порошков в исходном состоянии согласно паспортным данным составляли порядка 5 мкм. Механохимическое перемалывание было осуществлено в планетарной мельнице PULVERISETTE 6 (Fritsch, Берлин, Германия). Термический отжиг образцов был выполнен в муфельной печи SNOL 7.2/1100 (SNOL/Umega group, AB, г. Утена, Литва) при температуре 1000 °С, скорость нагрева составляла 20 °С/мин.

Модификация исследуемых $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик была осуществлена путем облучения низкоэнергетическими ионами гелия (He^{2+}) с суммарной энергией налетающих ионов равной 40 кэВ (20 кэВ/заряд). Облучение проводилось на ускорителе тяжелых ионов ДЦ – 60 (Астанинский филиал Института ядерной физики МЭ РК, Астана, Казахстан). Флюенсы облучения низкоэнергетических ионов для модификации были выбраны от 10^{14} до 10^{16} ион/см². Облучение проводилось при комнатной температуре образцов (25 °С), поддержание температуры в ходе облучения на заданном уровне было выполнено путем закрепления образцов на специальных держателях с водяным охлаждением, что позволило исключить эффекты термической аннигиляции точечных дефектов в образцах, возникающих в результате взаимодействия низкоэнергетических ионов с кристаллической структурой приповерхностного слоя. Выбор типа ионов He^{2+} для направленной модификации приповерхностного слоя обусловлен возможностями внесения структурных изменений на глубине порядка 300 – 400 нм приповерхностного слоя, который является наиболее активно участвующим в процессе фотогенерации свободных носителей заряда для фотокаталитического разложения.

Определение микротвердости образцов было выполнено на микротвердомере Duroline M1 (Metkon, Бурса, Турция), в котором в качестве индентера использовалась пирамида Виккерса, а нагрузка на индентер при измерениях составляла 10 Н, что позволило определить значение твердости приповерхностного слоя на глубине порядка 0.4 мкм (согласно данным оценки формы отпечатка индентера). Определение эффекта упрочнения (разупрочнения) в зависимости от фазового состава

$(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик было выполнено путем сравнительного анализа данных твердости до и после внешних воздействий.

Результаты и обсуждение

Одним из наиболее достоверных способов определения влияния облучения на изменение свойств материалов является метод рентгеновской дифракции, использование которого путем сравнения полученных данных структурных параметров образцов до и после облучения позволяет определить не только наличие структурных искажений, но и характер данных изменений, связанных с деформационными искажениями структуры (тип деформационных искажений определяется по изменению структурных параметров в сравнении с исходными значениями). На рисунке 1 представлены результаты рентгеновской дифракции исследуемых образцов $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик в исходном состоянии (не подвергнутых облучению), которые характеризуют фазовый состав исследуемых образцов. Общий вид представленных данных свидетельствует о влиянии вариации условий синтеза на процессы фазообразования в $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамиках, связанных с формированием двухфазных керамик типа $0.55\text{WO}_3/0.45\text{ZnWO}_4$ и $0.25\text{WO}_3/0.75\text{ZnWO}_4$ при концентрациях содержания ZnO равных 0.1 М и 0.2 М; однофазных керамик типа ZnWO_4 , полученных при соотношении компонент $\text{WO}_3 : \text{ZnO}$ равному 0.7 М : 0.3 М; двухфазных керамик типа $0.3\text{ZnO}/0.7\text{ZnWO}_4$ и $0.75\text{ZnO}/0.25\text{ZnWO}_4$ полученных при использовании концентраций ZnO , равных 0.5 М и 0.8 М соответственно. При этом общий вид полученных рентгеновских дифрактограмм свидетельствует о достаточно высокой степени структурного упорядочения (степени кристалличности) исследуемых образцов, которая составила порядка 87 – 89 %.

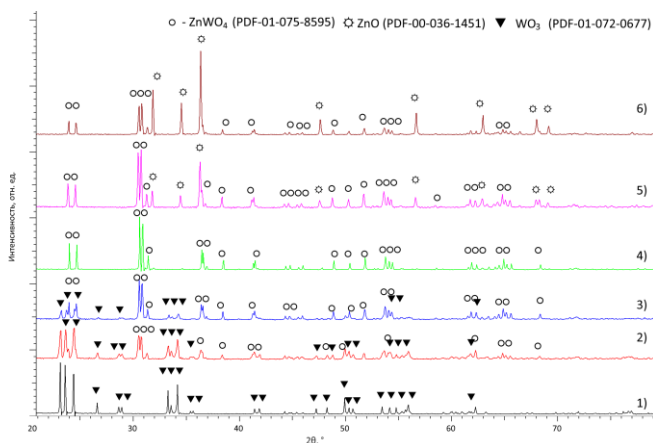


Рисунок 1 – Рентгеновские дифрактограммы исследуемых $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик: 1) WO_3 ; 2) $0.55\text{WO}_3/0.45\text{ZnWO}_4$; 3) $0.25\text{WO}_3/0.75\text{ZnWO}_4$; 4) ZnWO_4 ; 5) $0.3\text{ZnO}/0.7\text{ZnWO}_4$; 6) $0.75\text{ZnO}/0.25\text{ZnWO}_4$

В случае облучения низкоэнергетическими ионами He^{2+} с флюенсами $10^{14} - 10^{16}$ ион/см², основные структурные изменения связаны (согласно расчетам величин сна) с формированием деформационных искажений, вызванных накоплением дефектов, возникающих в результате взаимодействия налетающих ионов с кристаллической структурой керамик. Следует также отметить, что максимальное изменение величины смещений (порядка 13 сна) достигается при флюенсах облучения 10^{16} ион/см², что в свою очередь характерно для концентрации имплантированного гелия не более 0.01 ат. %, что исключает вероятность структурных изменений, связанных с эффектами газового распухания, обусловленного формированием газонаполненных включений в поврежденном слое. При этом, большие величины электронных ионизационных потерь обуславливают, согласно литературным данным, возникновение атермических эффектов, связанных с процессами ионизации и изменениями электронной плотности в поврежденном слое, что в свою очередь может привести к изменению ширины запрещенной зоны. Анализ рентгеновских дифрактограмм облученных образцов керамик в зависимости от дозы облучения не выявил наличие каких – либо новых дифракционных рефлексов, связанных с формированием новых фаз или процессов окисления, вызванных облучением, а основные изменения, наблюдаемые на рентгеновских дифрактограммах связаны со смещением положений максимумов относительно исходных значений, а также снижению интенсивности дифракционных рефлексов, которое в отсутствие изменений размеров кристаллитов (обнаружено не было) свидетельствует о формировании дефектной фракции в поврежденном слое. На основе установленных смещений дифракционных рефлексов в зависимости от флюенса облучения были определены параметры кристаллической решетки, для каждой установленной фазы, на основе изменений которых были определены величины объемного деформационного искажения кристаллической структуры, связанного с накоплением структурных повреждений в модифицированном слое. Результаты расчетов представлены на рисунке 2 в виде зависимостей изменения объемного деформационного искажения от величины атомных смещений.

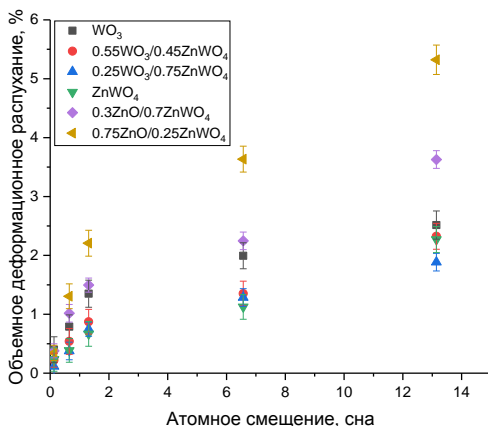


Рисунок 2 – Результаты сравнительного анализа объемного деформационного искажения кристаллической структуры в зависимости от величины атомных смещений

Общая тенденция изменений величины объемного деформационного искажения кристаллической структуры $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик в зависимости от величины накопленных атомных смещений свидетельствует о растягивающих остаточных деформационных напряжениях в кристаллической структуре, изменение концентрации которых происходит в результате увеличения флюенса облучения. При этом различия в накопительном характере изменений величины деформационных искажений в зависимости от фазового состава $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик свидетельствует о существенном влиянии наличия двух фаз, а также типа примесной фазы на деформационное искажение структуры.

В случае двухфазных $0.55\text{WO}_3/0.45\text{ZnWO}_4$ и $0.25\text{WO}_3/0.75\text{ZnWO}_4$ керамик изменение величины объемного деформационного искажения значительно меньше, чем для однофазных WO_3 и ZnWO_4 керамик, что может быть объяснено не только эффектами более выраженного структурного упорядочения керамик в исходном состоянии, но и эффектами наличия межфазных границ, которые препятствуют миграционным процессам дефектов, образующихся в результате облучения. В этом случае наличие межфазных границ приводит к образованию большого количества стоков дефектов и дислокаций, накопление которых вблизи данных стоков может привести к

возникновению, так называемого эффекта дислокационного упрочнения, хорошо известного для керамик и металлов в случае облучения тяжелыми ионами [10,11]. В случае керамик $0.3\text{ZnO}/0.7\text{ZnWO}_4$ и $0.75\text{ZnO}/0.25\text{ZnWO}_4$ увеличение вклада фазы ZnO приводит к более выраженному объемному деформационному распуханию, которое более чем в 1.5 – 2 раза выше при флюенсе облучения 10^{16} ион/см² (при величии смещений порядка 13 сна). Такое увеличение деформационного искажения для данных типов керамик, не смотря на наличие межфазных границ, свидетельствует о более низкой устойчивости к высокодозному облучению, которое связано с низкой радиационной стойкостью оксида цинка в сравнении с WO_3 и ZnWO_4 .

На рисунке 3 представлены результаты оценки формирования дефектной фракции (аморфных включений) в поврежденном приповерхностном слое, которое было рассчитано на основе данных изменений степени кристалличности (степени структурного упорядочения) керамик в зависимости от величины атомных смещений. Разупорядочение, связанное с изменением степени кристалличности образцов в результате образования аморфных включений (областей разупорядоченности), как видно из представленных данных наиболее проявляется при величинах атомных смещений, характерных для флюенсов облучения $5 \times 10^{15} - 10^{16}$ ион/см². Такой характер структурных изменений свидетельствует о том, что при малых флюенсах облучения $10^{14} - 10^{15}$ ион/см² основной эффект на изменение свойств керамик, оказывает деформационное искажение, которое в случае двухфазных $0.55\text{WO}_3/0.45\text{ZnWO}_4$ и $0.25\text{WO}_3/0.75\text{ZnWO}_4$ керамик сдерживается наличием межфазных границ и высокими показателями радиационной стойкости фазы ZnWO_4 . Однако в случае, когда величина атомных смещений превышает более 10 сна (при флюенсе 10^{16} ион/см²) образующиеся структурные разупорядочения, в результате атермических эффектов, а также сильного деформационного искажения (более 1.5 – 2 %) являются доминирующими эффектами в изменении свойств керамик.

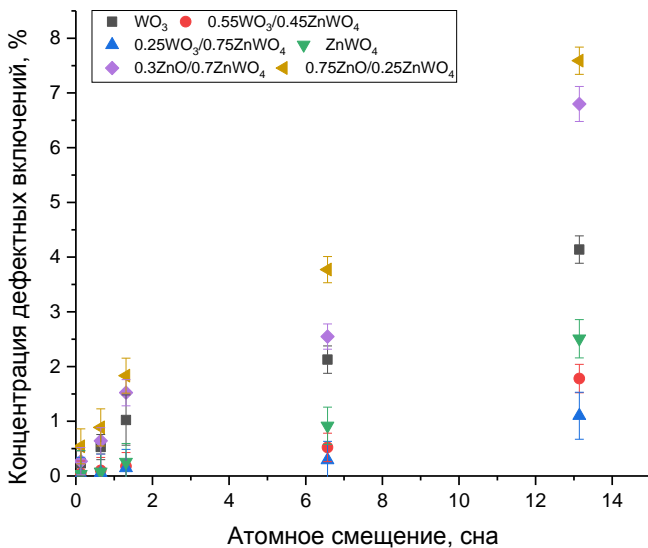


Рисунок 3 – Результаты оценки дефектной фракции в $(1-x)WO_3 - xZnO$ керамиках подверженных облучению ионами He^{2+}

На рисунке 4 представлены результаты изменений величины твердости образцов $(1-x)WO_3 - xZnO$ керамик в зависимости от величины атомных смещений, вызванных накоплением флюенса облучения, а также результаты оценки изменения фактора упрочнения/разупрочнения, связанного с изменением твердости в сравнении с исходными значениями, характерными для необлученных образцов.

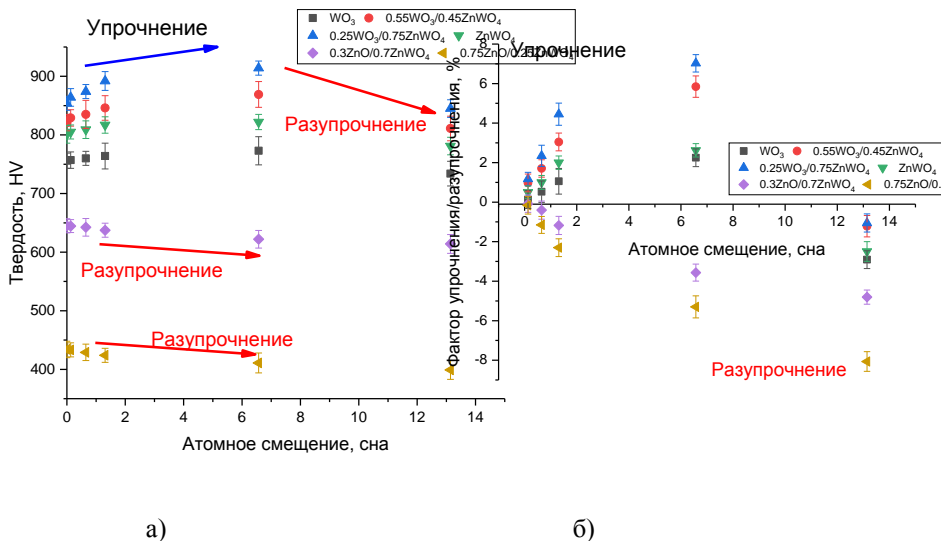


Рисунок 4 – Результаты изменения прочностных характеристик $(1-x)\text{WO}_3 - x\text{ZnO}$ керамик подверженных ионному облучению:

а) результаты изменения твердости в зависимости от величины атомных смещений; б) результаты изменения фактора упрочнения/разупрочнения в зависимости от величины атомных смещений

Наиболее проявленный наблюдаемый эффект упрочнения (увеличение твердости для образцов $0.55\text{WO}_3/0.45\text{ZnWO}_4$ и $0.25\text{WO}_3/0.75\text{ZnWO}_4$ керамик может быть объяснен за счет следующих факторов, характерных для двухфазных керамик. Наличие межфазных границ, приводящее к созданию дополнительных барьеров в виде стоков дефектов в случае взаимодействия ионизирующего излучения с кристаллической структурой может привести к замедлению процессов деформационного распухания (что отчетливо видно на данных, представленных на рисунке 2), а также созданию дополнительных дислокаций вблизи границ зерен и межфазных границ, увеличение плотности которых приводит, в совокупности высокими начальными значениями твердости двухфазных керамик типа $0.55\text{WO}_3/0.45\text{ZnWO}_4$ и $0.25\text{WO}_3/0.75\text{ZnWO}_4$ приводит к повышению твердости приповерхностного слоя, результаты которого имеют хорошее согласие с литературными данными о влиянии дислокационного упрочнения материалов, вызванного облучением [12,13]. При этом высокие показатели объемного деформационного распухания для образцов

0.75ZnO/0.25ZnWO₄ приводят к разупрочнению керамик при высокодозном облучении, а более выраженное снижение твердости для облученных образцов обусловлено низкими показателями радиационной стойкости ZnO, являющейся доминирующей фазой в образцах.

Заключение

Получены результаты, описывающие влияние облучения низкоэнергетическими ионами He²⁺ на изменение структурных (связанных с деформационным искажением кристаллической структуры), прочностных (возникновением эффекта упрочнения и разупрочнения приповерхностного слоя в зависимости от накопленных повреждений) и фотокаталитических характеристик (1-x)WO₃ – xZnO керамик.

Оценка величины структурного разупорядочения и объемного деформационного распухания позволила установить двухэтапный характер изменения структурных свойств, связанный с накопительным эффектом. В случае когда величина объемного деформационного искажения составляет менее 1.5–2 %, доминирующим механизмом изменения структурных свойств является накопление деформационных напряжений растягивающего типа в приповерхностном поврежденном слое, накопление которых приводит к возникновению эффекта радиационного упрочнения керамик. При величинах объемного деформационного искажения более 2.0 % доминирующую роль в изменении структурных свойств керамик играет накопление аморфных включений (сильно разупорядоченных областей) наличие которых оказывает негативное влияние на устойчивость керамик к разупрочнению. Данный материал может быть использован в качестве конструкционных материалов для ядерной энергетики.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ПЦФ РК BR18574135).

Список использованных источников

- 1 **Nakata, K., Fujishima, A.** TiO₂ photocatalysis: Design and applications // Journal of photochemistry and photobiology C : Photochemistry Reviews. – 2012. – Vol. 13, №. 3. – P. 169–189.
- 2 **Mukherjee, A., Goswami, N., Dhak, D.** Photocatalytic remediation of industrial dye waste streams using biochar and metal-biochar hybrids : a critical review // Chemistry Africa. – 2023. – Vol. 6, №. 2. – P. 609–628.
- 3 **Munawar, T.** et al. Enhanced charge carriers separation/transportation via S-scheme ZnCeS–ZnWO heterostructure nanocomposite for photodegradation of

synthetic dyes under sunlight // *Materials Chemistry and Physics*. – 2024. – P. 128938.

4 **Belli, P.** et al. Search for double beta decay of zinc and tungsten with low background ZnWO₄ crystal scintillators // *Nuclear Physics A*. – 2009. – Vol. 826, №. 3-4. – P. 256–273.

5 **López, X. A.** et al. Synthesis, characterization and photocatalytic evaluation of MWO₄ (M= Ni, Co, Cu and Mn) tungstates // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2016. – Vol. 41, №. 48. – P. 23312–23317.

6 **Medvedev, R. V.** et al. Low-energy ion polishing of Si in W/Si soft X-ray multilayer structures // *Journal of Applied Physics*. – 2019. – Vol. 126, №. 4. – P. 1–10.

7 **Oyarzabal, Í. M.** et al. The effect of flux on ion irradiation-enhanced precipitation in AISI-316L: An in-situ TEM study // *Journal of nuclear materials*. – 2020. – Vol. 541. – P. 152414.

8 **Jain, I. P., Agarwal, G.** Ion beam induced surface and interface engineering // *Surface Science Reports*. – 2011. – Vol. 66, №. 3-4. – P. 77–172.

9 **Bieliński, D. M., Ostaszewska, U., Jagielski, J.** Application of ion bombardment to modify tribological properties of elastomers // *Polimery*. – 2014. – Vol. 59, №. 5. – P. 416–422.

10 **Bulatov, V. V.** et al. Dislocation multi-junctions and strain hardening // *Nature*. – 2006. – Vol. 440, №. 7088. – P. 1174–1178.

11 **Arsenlis, A.** et al. Enabling strain hardening simulations with dislocation dynamics // *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. – 2007. – Vol. 15, №. 6. – P. 553.

12 **Xiao, X.** Fundamental mechanisms for irradiation-hardening and embrittlement: a review // *Metals*. – 2019. – Vol. 9, №. 10. – P. 1132.

13 **Marian, J., Fitzgerald, S., Po, G.** Discrete dislocation dynamics simulations of irradiation hardening in nuclear materials // *Handbook of Materials Modeling: Applications: Current and Emerging Materials*. – 2020. – P. 2243–2271.

*А. К. Алина¹, *К. К. Кадыржанов¹, Д. И. Шлимас¹,
А. Н. Бергузинов²*

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

*e-mail: kadyrzhhanov1945@gmail.com

(1-X)WO₃ –XZnO КЕРАМИКАДАҒЫ РАДИАЦИЯЛЫҚ МОДИФИКАЦИЯНЫҢ КҮШЕЙТУГЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл жұмыста 10^{14} -тен 10^{16} ион/см²-ге дейінгі флюменгі төмен энергиялы He²⁺ иондарымен сәулеленудің әсерін зерттеуге байланысты зерттеулердің нәтижелері берілген, олардың таңдауы туындаған беткі қабатқа құрылымдық бұрмаланулар енгізу мүмкіндігіне байланысты. Имплантацияланған гелийдің жоғары концентрациясында сәулеленген материалдарда пайда болатын гелий көпіршіктерінің пайда болу әсерін жоққа шығара отырып, иондардың кристалдық құрылыммен әрекеттесу нәтижелері бойынша. Зерттеу нысандары ретінде микрокомпозиттік керамика таңдалды, олардың таңдауы оларды атом энергетикасы үшін құрылымдық материалдар ретінде пайдалану перспективаларына байланысты. Сондай-ақ салыстыру үшін WO₃ керамикасының үлгілері таңдалды, ұнтақталды және (1-x)WO₃ – xZnO керамикалары сияқты термиялық күйдіру жағдайында күйдірілді. Сәулеленудің беріктік сипаттамаларының өзгеруіне әсерін анықтау кезінде максималды қатаю әсеріне әкелетін ең оңтайлы сәулелену флюенциясы 5×10^{15} ион/см² екендігі анықталды. Бұл ретте сәулелену флюстілігіне байланысты құрылымдық сипаттамалардың өзгерістерін талдау 10^{14} - 5×10^{15} ион/см² сәулелену флюстері кезінде созылу типті деформация-бұрмалаушы кернеулердің басым болуымен байланысты өзгерудің екі факторлы механизмін орнатуға мүмкіндік берді және сәулелену флюциясы 10^{16} ион/см² кезінде жұмсартуға кері әсерін тигізетін ақаулы фракцияның жинақталуының үлесінің артуы.

Кілтті сөздер: радиациялық ақаулар, қатаю, қаттылық, тұрақтылық, атом энергетикасына арналған материалдар, вольфрамдар, иондық модификация.

A. K. Alina¹, * K. K. Kadyrzhanov¹, D. I. Shlimas¹, A. N. Berguzinov²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana;

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

*e-mail: kadyrzhanov1945@gmail.com

STUDY OF THE EFFECT OF RADIATION MODIFICATION ON STRENGTHENING IN (1-X)WO₃-XZNO CERAMICS

This paper presents the results of studies related to the study of the effect of irradiation with low-energy He²⁺ ions with fluences from 10¹⁴ to 10¹⁶ ions/cm², the choice of which is due to the possibility of introducing structural distortions into the surface layer caused by the results of the interaction of ions with the crystal structure, while excluding the effect of the formation of helium bubbles arising in irradiated materials at high concentrations of implanted helium. Microcomposite ceramics were selected as objects for research, the choice of which is determined by the prospects of their use as structural materials for nuclear energy. Also for comparison, samples of WO₃ ceramics were selected, ground and annealed under the same thermal annealing conditions as (1-x)WO₃ - xZnO ceramics. In determining the effect of irradiation on changes in strength characteristics, it was found that the most optimal irradiation fluence leading to the maximum hardening effect is 5 × 10¹⁵ ions/cm². At the same time, the analysis of changes in structural characteristics depending on the irradiation fluence made it possible to establish a two-factor mechanism of change associated with the dominance of tensile-type deformation-distorting stresses at irradiation fluences of 10¹⁴ - 5 × 10¹⁵ ions/cm², and an increase in the contribution of the accumulation of the defective fraction, which has a negative effect on softening at irradiation fluence 10¹⁶ ions/cm².

Keywords: radiation defects, hardening, hardness, stability, materials for nuclear energy, tungstates, ionic modification.

ГТАХА 50.47.29

*** Р. А. Әділғазы, С. Х. Есенбаев, Ж. Б. Есмұхамбет,
В. А. Иванов, К. К. Смагулова**

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қарағанды қ.
e-mail: radilgazin@gmail.com

СУСЫМАЛЫ МАТЕРИАЛДЫ ОҢТАЙЛЫ МӨЛШЕРЛЕУ МАССАЛЫҚ АҒЫНДЫ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Зерттеу цемент, көмір және фармацевтика салаларына бағытталған өңдеу өнеркәсібіндегі Сусымалы материалдарды тасымалдау және мөлшерлеудің өндірістік жүйелеріне бағытталған. Дөрекі және жұқа мөлшерлеу әдісін ұсынады, мұнда дөрекі мөлшерлеу көлемді немесе гравиметриялық түрде жүзеге асырылады, ал жұқа мөлшерлеу салмаққа дәл жету үшін соңғы камераны пайдаланады. Дөрекі және жұқа мөлшерлеу процедуралары Bulk Good Laboratory Plant (BGLP) зертханалық қондырғысында сипатталған, мұнда материал пластикалық түйіршіктер болып табылады. Мақалада DEM әдісін (дискретті элементтерді модельдеу) қолдана отырып, жұқа мөлшерлеу компьютерлік модельдеу ұсынылған. Модельдеу нәтижелері диспенсердің ашылу бұрышы мен ротордың айналу жылдамдығының түйіршіктердің өлшенген салмағына әсерін талқылайды. Ұсынылған әдістеменің дозалау дәлдігін жақсарту және жұқа дозалау процесінде қадамдық кедергілерді азайту мүмкіндігі бар.

Дөрекі мөлшерлеу көлемді немесе гравиметриялық түрде жүзеге асырылады, ал жұқа мөлшерлеу салмаққа дәл жету үшін соңғы камераны пайдаланады. Дискретті элементтерді модельдеу (DEM) әдісін қолдана отырып, жұқа дозаны модельдеуге арналған компьютерлік тәсіл толық сипатталған.

Ұсынылған әдістеме дозалау дәлдігін жақсартуға, қадамдық кедергілерді азайтуға және жұқа дозалау процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Жұмыс кіріспеден бастап нәтижелерді ұсынуға, сондай-ақ болашақ зерттеулердің мүмкін бағыттарын белгілеуге дейінгі зерттеу жоспарын ескере отырып ұйымдастырылған.

Кілтті сөздер: дөрекі мөлшерлеу, жұқа мөлшерлеу, дискретті элементтер әдісі, жасанды нейрондық желі, массалық ағынды бағалау.

Кіріспе

Сусымалы материалдарды тасымалдау және мөлшерлеу үшін қолданылатын өндіріс жүйелері өңдеу өнеркәсібінде, атап айтқанда цемент, көмір және фармацевтика өнеркәсібінде кең таралған [1]. Сусымалы материалдарды өңдеу олардың физикалық қасиеттеріне байланысты қиыншылық туғызуы мүмкін. Сусымалы материалды дәл және оңтайлы мөлшерлеу өте маңызды, әсіресе ауытқу аз болған жағдайда. Алайда, сусымалы материалды берудегі қиындықтарға байланысты мұндай дәл мөлшерлеу әрдайым мүмкін емес. Сусымалы материал ағынымен байланысты пайда болатын қиыншылықтарды кең мағынада бөлшектердің бункермен әрекеттесуіне, бөлшектердің бөлшектермен әрекеттесуіне жатқызуға болады. Бункерлер әдетте әртүрлі сусымалы материалдарды сақтау үшін жобаланады және жасалады. Бірақ әртүрлі сусымалы материалдардың физикалық қасиеттері әртүрлі болғандықтан және бункерлер бұл айырмашылықтарды ескеретін етіп жасалмағандықтан, ағынның кедергілері әдетте айқын көрінеді.

Сусымалы материалдың тұтыну моделін анықтау өте қиын мәселе. Дегенмен, сусымалы материалдың мөлшерін екі негізгі тәсіл арқылы зерттеуге болады. Бірінші тәсіл, дәрекі мөлшерлеу кезінде массалық ағынды бағалау үшін қолданылады. Мұнда көлемді қатты зат сұйықтық механикасында қолданылатын схемаға ұқсас бөлшектердің континуумы (үздіксіз бөлшектер жиынтығы) ретінде қарастырылады, оған тән кернеу-деформация қатынасы бар. Екінші тәсіл микроскопиялық түрді қарастырады, яғни әрбір бөлшекті жеке қарастырады және олардың басқа бөлшектермен өзара әрекеттесуін зерттейді. Бұған бөлшектердің әрқайсысы үшін күш, кернеу және жылдамдықты есептеу және үйіндідегі барлық бөлшектерді біріктіру арқылы қол жеткізіледі. Бұл ұсыныс үшін материалдың бүкіл үйіндісін жылжыту үшін дискретті элементтерді модельдеу (DEM) жүргізілуі мүмкін. Алайда, бұл тәсіл өте үлкен есептеу қуатын қажет ететіндіктен, бұл зерттеуде ол дозалау процедурасында дәл дозалау аспектісін жүзеге асыру үшін ғана қолданылады.

Материалдар мен әдістер

Бұл зерттеуде біз сусымалы материалдың дәрекі дозасын көп камералы, жалпы салмағы жоғары және ротордың айналу жиілігі жоғары деп анықтаймыз. Екінші жағынан, жұқа мөлшерлеу бір камералы, жалпы салмағы аз және ротордың айналу жиілігі төмен деп анықталады. Әрі қарай, біз сәйкесінше дәрекі және жұқа мөлшерлеу үшін математикалық модельдеу мен DEM модельдеуге негізделген жаңа әдістемені ұсынамыз. Екі әдісте сусымалы материалдардың шығынын бағалайды және дәл мөлшерлеу әдісін, атап айтқанда айналмалы клапан арқылы массалық ағынды бағалауды шығарады. Дозалау режиміне әсер ететін сусымалы материалдың массалық шығыны өрескел мөлшерлеу үшін сандық түрде бағаланады. Жұқа мөлшерлеу үшін бұл массалық ағынды сандық бағалау

DEM модельдеу арқылы жүзеге асырылады. Сандық модельдеу нәтижелері кейіннен жасанды нейрондық желілерді (ЖНЖ) қолдана отырып, сусымалы материалды тұтыну функциясын жуықтау үшін қолданылады.

DEM модельдеу арқылы мөлшерлеу кезінде тамақ және химия өнеркәсібінде жиі қолданылатын ұнтақ материалдарға көп көңіл бөлінеді [2]. Алайда, ұнтақ материалдармен салыстырғанда сусымалы материалдың бөлшектерінің мөлшері 1,25 мм-ден 2,00 мм-ге дейін радиусқа байланысты өзгереді.

Сусымалы материалдарды мөлшерлеу әдістемесін екі түрлі тәсілге бөлуге болады: көлемді және гравиметриялық мөлшерлеу. Көлемді мөлшерлеу, мөлшерлеу құрылғысындағы материалдың көлемімен анықталады, біздің жағдайда бұл айналмалы клапан. Сондықтан қажетті масса материалдың тығыздығына байланысты. Демек, материалды ауыстыру кезінде массалық ағынды дәл бақылау үшін, дозалау жүйесін қайта параметрлеу қажет болады.

Екінші жағынан, гравиметриялық мөлшерлеу кезінде жалпы немесе таза салмақты өлшеу үшін таразылар қолданылады. Осы өлшеу негізінде дозалау құрылғысын басқару, сондай-ақ әртүрлі материалдарды дәл мөлшерлеу жүзеге асырылады. Кемшіліксіз басқару жүйесінің процедурасы дәрежі және жұқа мөлшерлеу режимдері арасында динамикалық ауысу болар еді. Бұл жағдайда ықтимал шешім-Siemens siwarex өлшеу модулі, ол дәрежі және жұқа дозалау арасында динамикалық түрде ауысады [3]. Бұл стандартты шешімнің негізгі кемшілігі – қайта-толтыру процесі кезіндегі салмақтың күрт өзгерісі әсерінен өлшеу сигналында секірулердің пайда болуы. Бұл сатылы кедергілерді осы стандартты шешіммен дұрыс өңдеу мүмкін емес. Сондықтан, бұл бөлімде біз сатылы кедергілер мәселесін шешетін дәрежі дозалау үшін тұйықталған басқару жүйесіндегі массалық ағынды бағалау әдістемесін сипаттаймыз.

Көлемді дозалауға арналған сынақ алаңы Bulk Good Laboratory Plant (BGLP) қондырғысы төрт түрлі модульден тұратын сусымалы материалдарды қайта өңдеудің өндірістік операциясын көрсетеді. BGLP-дегі төрт модуль – жүктеуді, сақтауды, өлшеуді және толтыруды орындайды. Сонымен қатар, бүкіл қондырғының модульдік құрылымы бар, онда қайта конфигурациялау алгоритмі барлық төрт станцияның ағымдағы құрастыру орнын үздіксіз қадағалайды және сәйкес жұмыс режимін қамтамасыз етеді. BGLP-де қолданылатын материал-бұл пластикалық түйіршіктер. Пневматикалық жетегі бар жапқыш материалды бункерге шығарады. Бункер айналмалы өлшеу клапанымен және қозғалтқышпен бірге үш жүктеме сенсорымен өлшенетін жүйеге бекітілген. SIWAREX one the on Hand өлшеу құрылғысы жүктеме датчиктерінен деректерді өңдейді және аналогтық сигналды саралайды. Дегенмен, SIWAREX құрылғысы

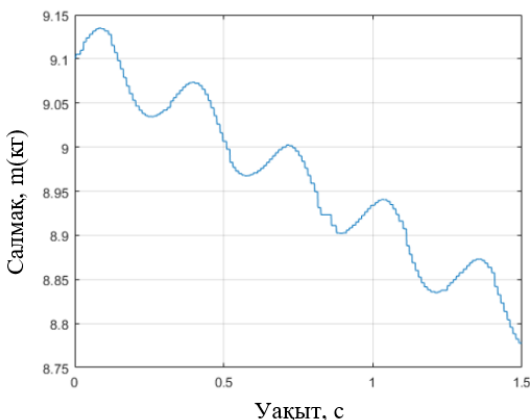
PLC материалының нақты салмағын қамтамасыз ету үшін дөрекі мөлшерлеу кезінде ғана қолданылады.



Сурет 1 – BGLP өлшеу және мөлшерлеу модулі

Барлық өлшеу модулі Siemens PLC негізіндегі басқару жүйесімен басқарылады, онда siwagex блогы мен мөлшерлеу құрылғысының жиілік түрлендіргіші profinet-fieldbus жүйелері арқылы өзара әрекеттеседі. Бұл конфигурацияда алты камералы ротордан тұратын мөлшерлеу клапаны бір камераға 60-70 г материалды мөлшерлеуге қабілетті. Демек, дөрекі мөлшерлеу әдісі түйіршіктердің массасын, камера сыйымдылығының еселігін мөлшерлеуге мүмкіндік береді.

Дозалаудың бірінші кезеңі, әрине, өлшеу траекториясын талдау болып табылады. Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы 1500 айн/мин диспенсерді, 1:48 беріліс коэффициенті бар редукторды және алты камералы өлшеу клапанын пайдаланған кезде масса мен уақыт қатынасы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – 1500 айн/мин кезіндегі диспенсердегі масса сигналы

Бұл физикалық сигналды математикалық түрде теріс көлбеу түзу сызық пен синусоидалы сигналдың тіркесімі арқылы сипаттауға болады

$$f(t) = at + b + a_1 \sin(\omega t), \quad (1)$$

мұндағы a массалық ағын ретінде анықталады. Бұл материалдың тығыздығымен және ротордың бұрыштық айналу жылдамдығымен сипатталады. Бұрыштық жылдамдық ω мәнімен анықталады, b -әрбір дозалау фазасы үшін материалмен толтырылған бункердің бастапқы салмағы. a_1 синусоидалы бөлігінің амплитудасын бірінші (1) теңдеу дифференциалымен келесідей анықтауға болады:

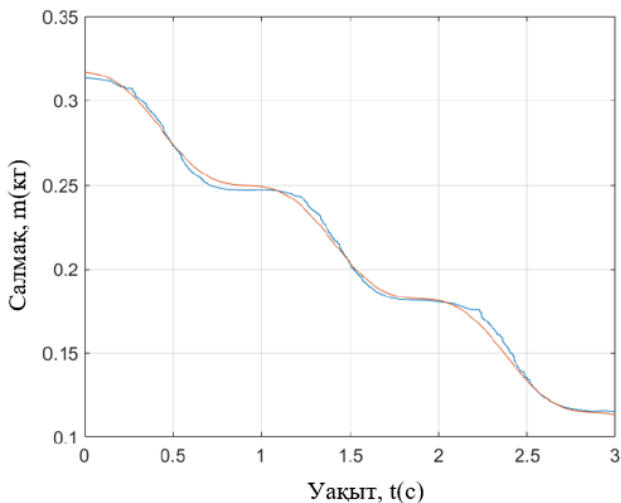
$$a_1 = \frac{\frac{df}{dt} - a}{\omega \cos(\omega t)} \quad (2)$$

$t = 0$ с уақытында физикалық жүйемен салыстырғанда қисықтың көлбеуі 0 болады. Бұл бақылау екінші (2) теңдеуді жеңілдетеді:

$$a_1 = -\frac{a}{\omega} \quad (3)$$

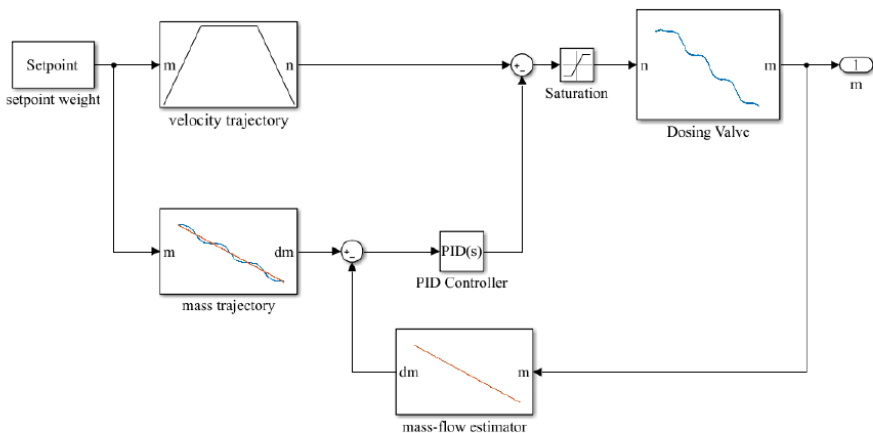
Нәтижесінде біз дәрекі мөлшерлеу үшін массалық ағынның шамасын аламыз. Екінші суретте көрсетілгендей, массалық ағын қисығы бункердің толтыру деңгейіне байланысты өзгеруі мүмкін, немесе дозалау процесінде бункердің алдындағы дозалау станциясынан кедергі пайда болған жағдайда, массалық ағын шамасы қажет болады. Демек, бұл ауытқуды есепке алу және басқару жүйесінде ауытқусыз қисықты қамтамасыз ету үшін масса ағынының траекториясы масса ағынының шамасымен ауыстырылады.

Бағалау нәтижесін көрсету үшін бастапқы массалық ағын сигналы ротордың бұрыштық жылдамдығымен корреляцияланған іріктеу жиілігімен, эквидистантты үлгілермен құрастырылады. Содан кейін бұл үлгілер a айнымалысын анықтау және 3-суретте көрсетілген идеалды массалық ағын сигналын бағалау үшін қолданылады. Бақыланатын модельденген массалық ағын сигналы (қызыл сызық) нақты массалық ағын сигналына (көк сызық) өте жақын.



Сурет 3 —482 айн/мин нақты және модельденген массалық сигнал.

Дөрекі дозалаудың барлық процесі жабық тізбекті басқару құрылымында жүзеге асырылады. Басқару тізбегі 4-суретте көрсетілгендей 2 сатылы контроллер түрінде жасалады.



Сурет 4 – Дөрекі мөлшерлеу үшін басқару тізбегінің схемасы

Ол онлайн массалық ағынды бағалау жүйесінен, қажетті салмақ жоғалтуға негізделген жылдамдық траекториясын жасайтын алдын ала бақылау жүйесінен, сондай-ақ PID реттегішінен тұрады. 4-суреттегі 1-мен белгіленген басқару тізбегінің шығыс сигналы дөрекі дозалау салмағы әрекет ететін кездегі мөлшерлеу клапанның жылдамдығын білдіреді. Бірінші қадам – жылдамдықтың сәйкес траекториясын анықтау, ол әр камерада салмақ жоғалтуға тікелей байланысты. Кейіннен жылдамдық траекториясына сүйене отырып, алдыңғы бөлімде анықталған массалық ағынның шамасымен салыстырылатын массалық ағынның траекториясы жасалады. Демек, PID басқару тізбегі өлшеу клапанын басқару үшін масса траекториясын және жылдамдық траекториясын пайдаланады.

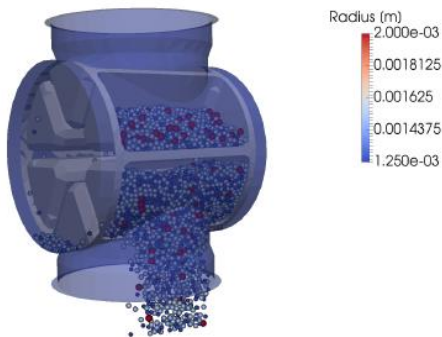
Айтылған материалды ескере отырып жұқа және дөрекі мөлшерлеу әдістерін кезектеп орындаған ең дұрыс шешім болып табылады деген ой түюге болады. Алайда, осы мақалада келтірілген жұқа дозалау, қажетті мөлшерлеу салмағына жету үшін тек соңғы мүмкін камераны пайдаланады. Демек, берілген конфигурацияда дәл мөлшерлеу үшін диспенсердің салмағы $0 < m < 70\text{г}$ диапазонында болады. Дәл мөлшерлеу дозалау камерасын белгілі бір бұрышқа ашқан кезде жүзеге асырылады, содан кейін ол бастапқы орнына оралады. Диспенсердің салмағы камераның ашылу бұрышына және айналу жылдамдығына байланысты өзгеруі мүмкін. Дәл дозалау үшін диспенсердің ашылу бұрышы, айналу жылдамдығы мен салмағы арасындағы бұл өзгерісті анықтау қажет. Бұл өзгеріске көз жеткізу

үшін жұқа мөлшерлеу процесін компьютерлік модельдеу жүзеге асырылды.

DEM – бұл модельдеудің белгілі әдістемесі, ол бір модельдеу аймағында көптеген (бірнеше миллионға дейін) бөлшектерді модельдеуге мүмкіндік береді, бірақ өте қарқынды есептеулерді қажет етеді. Бұл бөлшектердің дискретті және үзіліссіз қозғалыстары үшін сандық есептеу әдісін қолданатын сусымалы материалдарды модельдеудің стандартты әдісі. Бұл бөлшектер материалдың әртүрлі қасиеттері бар сфералар түрінде берілген. Әрбір жеке бөлшектің күштері, қозғалысы немесе жылдамдығы Ньютонның қозғалыс заңдарын қолдана отырып, тривиальды түрде есептеледі.

Бұл мақалада DEM айналмалы мөлшерлеу клапаны арқылы пластикалық түйіршікті материалды жұқа мөлшерлеу процедурасын модельдеу үшін қолданылады. Liggghts бағдарламалық құралының көмегімен белгілі бір материалды ғана емес, сонымен бірге бөлшектер өзара әрекеттесетін қозғалмалы геометриялық пішіндерді де модельдеуге болады [4].

Қолданылатын материалдың параметрлері I кестеде келтірілген, олар әрқашан бөлшек-бөлшек өзара әрекеттесу үшін және бөлшектер геометриясы.



Сурет 5 – Dem модельдеуіндегі, мөлшерлеу клапанының схемасы

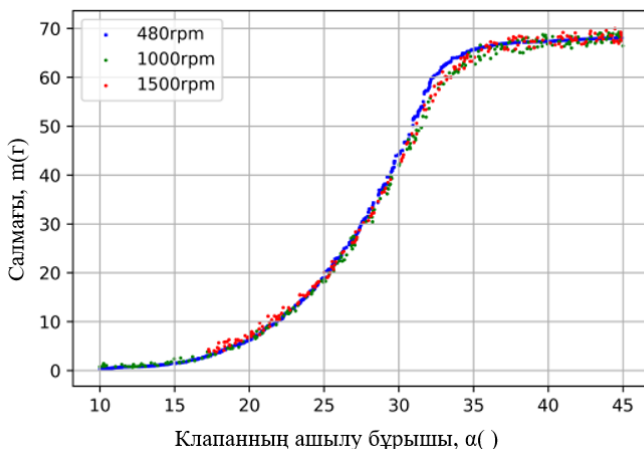
5-суретте көрсетілгендей, бастапқыда модельдеу саласында шамамен 8000 бөлшектері бар екі камера ғана бар. Сонымен қатар, бөлшектердің радиусы мен тығыздығы бойынша бастапқы таралуы да ескеріледі. Бастапқы материал – тығыздығы 571 кг/м^3 , радиусы 1,25 мм-ден 2,00 мм-ге дейінгі түйіршікті пластик гранулалары болып келеді. Нақты материал үшін DEM модельдеу параметрлерін калибрлеу арқылы шынайы модельдеуге қол жеткізіледі.

I Кесте. Пластикалық түйіршіктерді параметрлеу.

Параметр	Бөлшек	Геометрия
Юнг модулі	$5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$
Пуассон коэффициенті	0,5	0,5
Қалпына келтіру коэффициенті	0,1 0,2	0,2 1
Үйкеліс коэффициенті	0,8 1,5	1,5 1

Бұл модельдеудің негізгі мақсаты – әр түрлі ашылу бұрыштары мен айналу жылдамдығын қолдана отырып, түйіршіктің қанша салмағын өлшеуге болатындығын анықтау. Сондықтан дозалау процесін көрсететін модельдеу ретін анықтау қажет. Сонымен қатар, әр камерада өлшенетін материалдың тығыздығының өзгеруіне байланысты, нақты қондырғыда байқалғандай, әр модельдеу тізбегіндегі бөлшектердің тығыздығы кездейсоқ түрде 2% - дан аспайтын ауытқу болады. Тығыздықтың өзгеруі материалдың шаңмен ластануына немесе бөлшектердің қасиеттерінің өзгеруіне байланысты болуы мүмкін. Өлшенген салмақ, ашылу бұрышы және ротордың айналу жылдамдығы модельдеу тізбегімен өлшенеді. Ротордың әртүрлі айналу жылдамдығын бағалау үшін үш модельдеу тізбегі модельденеді.

Аталған модельдеу тізбегінің нәтижесі 6-суретте көрсетілген. Көк, қызыл және жасыл қисықтары бар графикте ротордың айналу жылдамдығы минутына 480, 1000 және 1500 айналым аралығында өзгерген кезде өлшенетін салмақ айтарлықтай әсер етпейтіні көрсетілген. Сонымен қатар, суретте өлшеу клапанының ашылу бұрышына байланысты 0-ден 70 г-ға дейінгі мөлшердегі салмақтың өзгеруі көрсетілген.



Сурет 6 – Клапанның айналу жылдамдығының әсері

Жасанды нейрондық желі (ЖНЖ) Y шығыс функциясын жүзеге асырады, сызықтық емес кірістер функциясы X -ті параметрленген «салмақ» бойынша алынады [5]. Бұл зерттеуде біз алдыңғы қабаттағы әрбір нейрон келесі қабаттағы барлық нейрондармен байланысқан тікелей ЖНЖ байланысы бар бір ғана жасырын қабатты қарастырамыз. Яғни егер жасырын өлшем бірліктері жеткілікті болса, олар кез келген үздіксіз функцияны ерікті дәлдікпен көрсете алады [6]. X кірісі бар бір жасырын ЖНЖ қабаты үшін (бұл жағдайда салмақ азаяды) матрицалық жазбада бірінші жасырын қабатты белсендіру үшін есептеу ережесі келесідей анықталады

$$H = \sigma(WX + b) \quad (4)$$

мұндағы H – жасырын қабатты белсендіру, σ – сызықтық емес активтендіру функциясы, W – кіріс салмақ параметрі (кіріс бірліктерін жасырын бірліктермен байланыстырады) және b – жасырын қабаттың орын ауыстыруы. Сол сияқты, ЖНЖ шығыс қабатынан есептеуді есептеуге болады. Толық желілік функцияны екі есептеуден келесідей біріктіруге болады

$$Y = \phi(U[\sigma(WX + b)] + c) \quad (5)$$

мұндағы Y – желіден шығатын сигнал (бұл жағдайда ашылу бұрышы), ϕ – шығыс қабатының белсендірілуін білдіреді, U - шығыс салмағының параметрі (жасырын блоктарды шығыс блоктарымен байланыстырады), ал c - шығыс қабатының ауытқуы. Регрессия есептері үшін әдетте үздіксіз функцияның жуықтауына байланысты сызықтық шығыс функциясы қолданылады. Түзетілген сызықтық бірліктерді белсендіру функциясы (Relu) [7]-де көрсетілген. DEM модельдеу арқылы жасалған оқу жиынтығын ескере отырып, ЖНЖ моделі төменде келтірілген квадраттағы орташа шығындар функциясын азайту арқылы оқытылады

$$Loss, L = ||(Y - T)||^2 \quad (6)$$

мұндағы Y – ЖНЖ үлгісіндегі әрбір деректер үлгісі үшін болжам, ал T – мақсатты көрсеткіш. ЖНЖ моделін оқыту үшін салмақ параметрлері бойынша шығындар функциясының ішінара туындылары есептеледі. Осыдан кейін салмақ параметрлері градиентті түсіруді оқытудың итеративті процедурасы арқылы жаңартылады [6]. Өнімділікті арттыру үшін біз Adam оңтайландыру әдісін [8], градиентті түсіруді оқыту әдісінің нұсқасын және Drop Out тәсілін қолданамыз [9]. Тандалған жасырын өлшем бірліктерінің саны 10 болды, бұл орташа квадраттық көрсеткіштің 2.0254 ауытқу мәнін берді.

Нәтижелер мен талқылау

Дөрекі және жұқа дозалаудың екі әдісі де дозалау клапанын басқаратын PLC-де жүзеге асырылуы керек. HMI BGP-ге қажетті салмақты енгізгеннен кейін PLC-дегі алгоритм массалық ағынды, сондай-ақ жылдамдық траекториясын анықтайды[10]. Дөрекі мөлшерлеу процесі әрқашан бір камераның салмағының еселенген мөлшерін ғана өлшейді және соңғы камераға тоқтайды. Осылайша, қазіргі уақытта дөрекі мөлшерлеу кезіндегі салмақ айырмашылығы $0 > m > 70$ г құрайды.

Дөрекі дозалау мен жұқа дозалау арасында үздіксіз ауысу қажет. Қазіргі уақытта дозалаудың екі әдісі арасындағы тегіс ауысу жүзеге асырылмайды, өйткені жұқа дозалау процесін бастамас бұрын ротордың нақты орнын анықтау қажет. Сондықтан ротордың қажетті орнын алуға мүмкіндік беретін калибрлеу процедурасы жасалды. Калибрлеу процедурасы ротордың есептік орнын массалық ағын жолынан шығарады. Ротордың орнын анықтағаннан кейін ротор дәл мөлшерлеу үшін оңтайлы күйде автоматты түрде тоқтайды.

Мұнда siwagex модулі, дөрекі дозалау және BGLP жұқа дозалау арқылы стандартты дозалау процедурасының нәтижелері берілген. Стандартты әдістеме үшін орташа абсолютті қателік ұсынылған әдістемеге қарағанда шамамен үш есе жоғары, бұл оның жоғары дәлдігін көрсетеді. Қажетті 500 г салмақта орташа абсолютті қателік және өрескел мөлшерлеу үшін стандартты ауытқу II кестеде көрсетілгендей толық камераның салмағының жартысына жақын.

2 Кесте. Дөрекі, стандартты және жұқа мөлшерлеу кезіндегі қателік.

Сынама	Стандартты мөлшерлеу(500г)	Дөрекі мөлшерлеу(500г)	Жұқа мөлшерлеу(25г)
1	66.1	9.6	1.4
2	70.5	7.5	7.4
3	67.4	65.0	3.6
4	69.0	10.4	2.9
5	68.4	9.3	3.0
6	68.1	66.8	3.9
7	67.1	6.7	2.2
8	71.6	66.6	6.6
9	69.0	7.8	1.9
10	70.1	6.7	1.4
Орташа абсолютті ауытқу	68.73	25.64	3.33
Стандартты ауытқу	14.01	25.7	2.24

Дөрекі мөлшерлеу кезіндегі қателік әр түрлі болады, өйткені мөлшерлеу процесі толығымен жабық алдыңғы камерамен аяқталады немесе бірнеше градусқа ашық қалады, нәтижесінде барлық материал ағып кетеді.

Ақырында, дәл дозалау процесінде қателік өте аз, II кестеден көрініп тұрғандай орташа абсолютті қателік небәрі 3,33 г, ал стандартты ауытқу 2,24 г құрайды, яғни доза қажетті салмаққа өте жақын.

Қорытынды

Бұл зерттеу салмақ бойынша оңтайлы мөлшерлеу үшін дөрекі және жұқа дозалаудың жаңа әдістемесін ұсынады. Екі тәсіл де гравиметриялық дозалау сценарийінде кәдімгі мөлшерлеу клапаны арқылы үлкен өлшемді материалды мөлшерлеудің тиімді әдісі болып табылады. Дөрекі мөлшерлеу дозаланатын өнімнің қажетті салмағына жетудің жылдам әдісі ретінде қолданылады. Бірақ бұл соңғы дозаны алу үшін жоғары дәлдіктегі жұқа дозамен бірге соңғы дозаға дейінгі алдын ала қадам ретінде ғана әрекет етеді. Массалық ағын мен жылдамдықтың траекториясын алдын-ала өңдеу, сондай-ақ масса бойынша ағынды үздіксіз бағалау арқылы өрескел мөлшерлеу үшін басқару тізбегі жасалады. Бұл басқару тізбегі массалық ағынның оңтайлы және нақты траекториясы арасындағы ауытқуды анықтайды және кейіннен өлшеу клапанының жылдамдығын басқарады. Ұсынылған дәл мөлшерлеу әдісі DEM модельдеу моделіне негізделген, ол дозалау процедурасының соңғы камерасындағы салмақтың бір бөлігін ғана өлшейді. Қолданылатын түйіршікті материалды калибрлеу, сондай-ақ ЖНЖ-дегі өлшеуіш клапанның түпнұсқа сызбалары дәл имитациялық модельдеуді қамтамасыз етеді.

Болашақ зерттеу бағыттары екі тәсілді де бір кешенді дозалау процедурасына толық біріктіруді қамтиды. Сонымен қатар, өлшеу камерасындағы шаң және әртүрлі материалдарды пайдалану сияқты факторлардың әсері зерттеледі.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **D. Schulze**, Powders and bulk solids : Behavior, characterization, storage and flow / Dietmar Schulze ; [co-translator : J'org Schwedes]. Berlin: Springer, 2008.

2 **D. Schulze**, “Flow properties of bulk solids,” Powders and Bulk solids : Behavior, characterization, storage and flow, pp. 35–74, 2008.

3 **O. I. Imole, D. Krijgsman, T. Weinhart, V. Magnanimo, B. E. Ch'avez Montes, M. Ramaioli, and S. Luding**, “Experiments and discrete element simulation of the dosing of cohesive powders in a simplified geometry,” Powder Technology, vol. 287, pp. 108–120, 2016.

4 **Siemens AG**, “Weighing systems : Electronic Weighing System,” 2017.

5 **C. Kloss, C. Goniva, A. Hager, S. Amberger, and S. Pirker**, “Models, algorithms and validation for opensource DEM and CFD-DEM,” *Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal*, vol. 12, no. 2/3, p. 140, 2012.

6 **D. J. C. MacKay**, *Information theory, inference, and learning algorithms*. Cambridge UK and New York: Cambridge University Press, 2003.

7 **C. M. Bishop**, *Pattern recognition and machine learning*. Springer, 2006.

8 **M. D. Zeiler, M. Ranzato, R. Monga, M. Mao, K. Yang, Q. V. Le, P. Nguyen, A. Senior, V. Vanhoucke, J. Dean et al.**, “On rectified linear units for speech processing,” in *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on*, 2013, pp. 3517–3521.

9 **D. Kingma and J. Ba**, “Adam : A method for stochastic optimization,” *arXiv preprint arXiv:1412.6980*, 2014.

10 **N. Srivastava, G. E. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov**, “Dropout : a simple way to prevent neural networks from overfitting,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, no. 1, pp. 1929–1958, 2014.

***Р. А. Әділғазы, С. Х. Есенбаев, Ж. Б. Есмұхамбет,
В. А. Иванов, К. К. Смағұлова**

Қарағандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова,
Республика Казахстан, г. Қарағанда

ОПТИМАЛЬНОЕ ДОЗИРОВАНИЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ОЦЕНКА МАССОВОГО РАСХОДА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Исследование сосредоточено на производственных системах транспортировки и дозирования сыпучих материалов в обрабатывающей промышленности, ориентированных на цементную, угольную и фармацевтическую промышленность. Грубое и тонкое дозирование обеспечивает метод, при котором грубое дозирование выполняется объемно или гравиметрически, в то время как тонкое дозирование использует конечную камеру для точного достижения веса. Грубые и

тонкие процедуры дозирования описаны в лабораторной установке Bulk Good Laboratory Plant (BGLP), где материалом являются пластиковые гранулы. В статье представлено компьютерное моделирование тонкой дозировки с использованием метода DEM (моделирование дискретных элементов). В результатах моделирования обсуждается влияние угла открытия дозатора и скорости вращения ротора на измеренный вес гранул. Предлагаемая методика обладает способностью повышать точность дозирования и уменьшать ступенчатые помехи в процессе тонкого дозирования.

Грубое дозирование выполняется объемно или гравиметрически, в то время как тонкое дозирование использует конечную камеру для точного достижения веса. Полностью описан компьютерный подход к моделированию тонкой дозы с использованием метода моделирования дискретных элементов (DEM).

Предлагаемая методика позволяет повысить точность дозирования, снизить шаговые барьеры и оптимизировать процесс тонкого дозирования. Работа организована с учетом плана исследования, от введения до представления результатов, а также определения возможных направлений будущих исследований.

Ключевые слова: грубая дозировка, тонкая дозировка, метод дискретных элементов, искусственная нейронная сеть, оценка массового расхода.

*** R. A. Adilgazy, S. H. Esenbaev, Zh. B. Yesmukhambet,
V. A. Ivanov, K. K. Smagulova**

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Republic of
Kazakhstan, s. Karaganda

OPTIMAL DOSING OF BULK MATERIAL MASS FLOW ESTIMATION AND MATHEMATICAL MODELING

The research focuses on production systems for the transportation and dosing of bulk materials in the manufacturing industry, focused on the cement, coal and pharmaceutical industries. Coarse and fine dosing provides a method in which coarse dosing is performed volumetrically or gravimetrically, while fine dosing uses a finite chamber to accurately achieve weight. Coarse and fine dosing procedures are described in the Bulk Good Laboratory Plant (BGLP), where the material is plastic granules. The article presents a computer simulation of a fine dosage using the DEM method (modeling of discrete elements). The simulation results discuss the effect of the dispenser opening angle and the rotor rotation speed on the measured weight of granules. The proposed technique has the ability

to increase the accuracy of dosing and reduce step-by-step interference in the process of fine dosing.

Coarse dosing is performed volumetrically or gravimetrically, while fine dosing uses a finite chamber to accurately achieve weight. A computer approach to fine dose modeling using the discrete element modeling (DEM) method is fully described.

The proposed technique makes it possible to increase the accuracy of dosing, reduce step barriers and optimize the process of fine dosing. The work is organized taking into account the research plan, from the introduction to the presentation of the results, as well as determining possible directions for future research.

Keywords: coarse dosage, fine dosage, discrete element method, artificial neural network, mass flow estimation.

МРНТИ 44.01.94:

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

* U. Zhalmagambetova¹, I. Radelyuk¹, D. Omerbayeva¹, A. Neftissov², I. Kazambayev²

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana

*e-mail: ultuara@mail.ru

Environmental monitoring in Kazakhstani context – state-of-the-art and challenges for industrial region

Environmental issues remain a pressing concern for Kazakhstani industrial regions. While legislative requirements for emissions into the environment permanently become increasingly stringent, the environmental monitoring system lacks several structural factors.

This article delves into the fundamental requirements for environmental monitoring systems and overviews methods and models for monitoring emissions into the environment based on sources and impact factors. The structure of classical monitoring is outlined in detail, examining methods based on international experience with existing management and control systems. The reasons and perspectives for an environmental monitoring system for industrial facilities in the Pavlodar region are discussed. The energy sector should gain the special attention due to its high density and significant environmental impact in the region.

It can be concluded that imperfections in legislation and outdated infrastructure conditions have led to the threatening ambient air pollution. While the observations based on the retrospective time-series data currently show state-of-the-art, the urgent call for implementation of industrial intelligent information-analytical system may play a pivotal role in decision-making in air quality management.

Keywords: environmental monitoring, greenhouse gases emissions, environmental pollution, Industry 4.0, air quality.

Introduction

More than half of the world's population is currently vulnerable to the consequences of climate change. One such consequence is the emergence of environmental issues resulting from and exacerbated by anthropogenic pressure. Kazakhstan is a country that has been grappling with a steadily increasing array of environmental problems. These include harmful emissions from industrial enterprises, water and soil pollution, as well as other detrimental impacts of industrial activities. Water resource challenges are escalating each year, posing a significant threat to water deficit in certain regions. Additionally, industrialized

regions are experiencing contamination from radioactive, bacteriological, and chemical sources.

Sustainable development of the country in the modern world necessitates careful consideration of environmental safety. The responsibility of our generation is to safeguard nature and judiciously utilize the abundant resources of the country [1]. The government claims its commitment to the UN's urgent appeal for concrete action to preserve the environment for future generations. Kazakhstan has become the first country in the Central Asian region to ratify the Paris Agreement and embrace the Carbon Neutrality Strategy 2060.

Environmental monitoring is a part of the measures for assurance the environmental sustainability. It encompasses the processes and activities essential for evaluating the quality of the environmental objects and associated risk assessment. The regulatory framework governing these requirements focuses primarily on evaluating impact compliance and reporting industrial emissions and wastewater discharged into the environment [1-3]. Nevertheless, monitoring can be more efficient when obtained data can serve multiple objectives, such as statistical analysis for state-of-the-art evaluation and forecasting the future environmental conditions. The specific parameters to be monitored are contingent on the characteristics of the subject of a particular environmental study and the factors prevailing within it. Targeted chemical parameters for monitoring depend on the characteristics of each particular subject. Environmental monitoring system implies ecological analysis of interaction between people and nature within the biosphere. While national monitoring systems are based on such activities on the territory of one country; it is emerging and challenging to establish regional monitoring within ecosystem boundaries, which goes beyond the governmental boundaries.

This paper overviews the system of environmental monitoring in Kazakhstan under the context of worldwide experience and the recent updates in the field.

Materials and methods

The following objects are included in the environmental monitoring system of Kazakhstan:

- Environmental objects, including land, soil, water (both underground and on the surface), subsoil, air, radiation, and energy pollution levels. This scope extends to the ozone atmospheric layer and the space near Earth, crucial for creating favorable conditions for life.
- Objects of nature, which include natural ecosystems, natural landscapes, and the constituent elements within them.
- Natural-anthropogenic objects, referring to elements of nature altered due to any economic activity or objects reproduced by human intervention, serving recreational or protective purposes.

- Sources exerting anthropogenic influence on the environment, encompassing hazardous objects.

An integral component of environmental monitoring involves the formulation of a formal monitoring program. The primary objective of this program is to furnish objective information about the environmental situation, aiding in informed decision-making under current and foreseeable circumstances. Quality control and quality assurance play a pivotal role in this process to ensure the reliability and objectivity of the collected data throughout the monitoring process.

Numerous procedural manuals and standards are available to facilitate this endeavor. To discern the strengths and weaknesses of the environmental monitoring system within the Kazakhstani context, it is imperative to analyze not only the legislation of the Republic of Kazakhstan, with a specific focus on mitigation plans of industrial enterprises, but also to compare it with relevant international experiences.

The operational scheme of the intelligent informational system of environmental monitoring is presented in Figure 1.

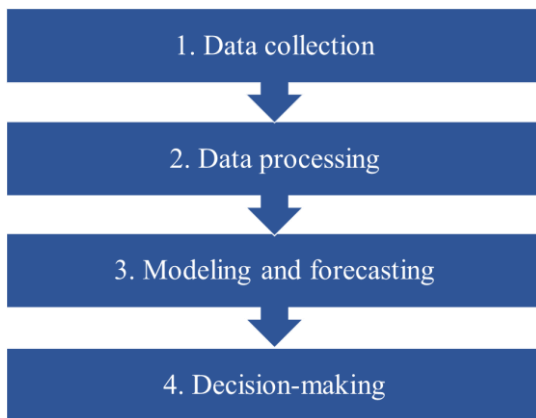


Figure 1 – Operational scheme of environmental monitoring

Data collection is the first step of the environmental monitoring. This step demands the reliability of the information obtained, as future conclusions and decisions will be derived from the processing of it. Data for intelligent information and communication systems can be acquired through two primary methods. Instrumental method, which involves direct measurements of required indicators using control and measuring devices. Data acquisition can be automated, requiring no human participation. Manual input method, which is carried out by entering available data manually. It is applied for extra statistical indicators required for calculations in risk assessment, such as population size

and density, traffic intensity, number of local domestic heat sources, etc. It is essential to consider potential measurement errors or variations in the interpretation of statistical data for both methods. Overall, the requirements for the data collection stage are well-established. The legislation of the Republic of Kazakhstan, along with various normative and technical documents, outlines the scope of measurements, the composition of instrumentation, and the methods of measurement.

Data processing is directed towards acquiring comprehensive information about the state of the environment. During this stage, secondary indicators of the environmental state are computed, and the obtained data are compared with standardized values. Additionally, graphs, maps, and other visual forms of information presentation are generated. To serve as initial data for the subsequent stage of the information and communication system structure, it is crucial to establish dependencies among various parameters using statistical methods. Data analysis and processing follow various non-unified normative techniques in Kazakhstan nowadays. The list of these techniques is extensive, enabling a diverse range of calculations essential at this stage. However, the established system still follows a post-soviet approach in assessing and interpreting obtained data.

At the modeling and forecasting stage, the intelligent information-communication system should build mathematical models considering obtained data. The models aim to depict the dynamics of environmental parameters under established scenarios. This stage heavily relies on the existing research tools, which should be permanently reflected and revised in the respective regulatory framework.

As a final step, the intelligent information and communication system should facilitate the dissemination of the obtained results to various stakeholders involved in the environmental monitoring process. This procedure ensures the availability of information crucial for decision-making. The level of decision-making can range from routine consideration of the received information in day-to-day activities to the capacity for prompt intervention in processes influencing the environmental situation on the governmental and intergovernmental levels. There is a comprehensive system of responsibility for the notification of environmental conditions on different levels in Kazakhstan. However, the administrative leverage still lacks an efficient roadmap for the improvement of environmental conditions.

There is still a space to improve the regulatory standards and guidelines for the environmental monitoring system in Kazakhstan. Directive on ambient air quality and cleaner air for Europe may be used as a reference point [4]. This document contains strict and well-established requirements for both air quality and data management, including quality assurance and quality control framework. The required data and information for reliable ambient air

management are presented in Figure 2. The general obligatory requirement for implementation in all European countries is Emissions measurement systems (CEMS), aiming for monitoring of greenhouse gases (GHG) emissions. This system is based on stationary installations and equipped with high-tech devices. The level of automation in data transmission and processing renders these systems accurate and responsive to changes. Even in case any indicator surpassing established norms, an alert is activated, prompting the central point to make decision-makers [5]. The measurement is followed by a respective assessment of the impact of emitted GHGs [6].

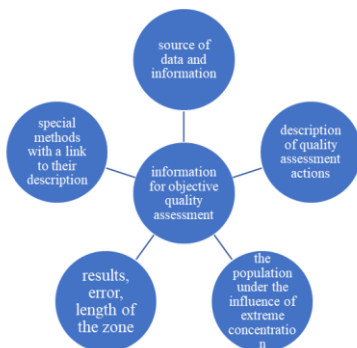


Figure 2 – Data and information required for reliable ambient air management

Contradictory, the post-soviet countries still tend to follow outdated standards and methods for environmental monitoring and risk assessment, including standards for calculation for environmental control and monitoring, the organization of state services for environmental observation, and the metrological support of control system [7].

The overall goal of environmental monitoring is to formulate economic and political solutions grounded in environmental safety, achieving a precise diagnosis, forecasting negative scenarios, and proposing respective measures. Unfortunately, this goal is barely visible in Kazakhstan, where the environmental monitoring does not reflect the abovementioned objectives and exists by itself. The system of various types of observations conducted at both stationary, organized posts and in expeditionary conditions is not implemented into the decision-making and may not offer reliable predictions, particularly in fluctuating conditions or during facility planning. Consequently, one of the most viable approaches to managing risks and making optimal decisions involves the mathematical modeling of processes, enabling the exploration of different

scenarios. This approach can be considered, as one of the priority directions to achieve environmental sustainability in Kazakhstan.

Pavlodar region is one of the most important industrial actors of Kazakhstan, which accounts for more than one-third of emissions within the whole country. Therefore, the system of environmental monitoring fails significantly. Industry has taken advantage of loopholes in environmental legislation for a long time to emit significantly high levels of GHGs. The data collection stage has limitations in several parameters, such as spatial and temporal boundaries, which may not offer reliable predictions, particularly in fluctuating conditions or during facility planning. Mathematical modeling of processes, enabling the exploration of different scenarios are not implemented for managing risks and making optimal decisions, particularly in establishing fair target indicators of environmental quality. The energy sector, represented by Aksu GRES, Ekibastuz GRES, Pavlodar CHPs, oil refining cluster, etc., contributes significantly to the environmental issues of the region. The situation worsens due to outdated obsolete infrastructure, which does not meet the modern requirements for environmental safety.

Thus, achieving carbon neutrality is a questionable challenge, demanding a systematic multitask approach. One of the urgent parts for the region is the development of a comprehensive set of intelligent information and communication systems for monitoring emissions into the environment to facilitate decision-making within the framework of the carbon neutrality concept.

Results and discussion

National Air Quality Monitoring Network (NAQMN) by the RSE “Kazhydromet” comprise 140 environmental posts spread across 45 settlements in the country. These posts are equipped with automated gas analyzers designed for monitoring pollutants. An interactive map is in place to depict the real-time condition of the atmospheric air, considering factors such as the concentration of harmful substances and pollution levels. The existence of these automated monitoring systems results in the generation of extensive datasets, offering opportunities for the application of intelligent processing methods and tools. However, the reliability of the data generated by the NAQMN has been questioned by the number of authors. As an alternative, the “Airkaz” public air quality monitoring network (www.airkaz.org) uses Pms5003 PM_{2.5} sensors (Plantower, China) to measure the concentrations of PM_{2.5} every minute. These monitoring systems can serve as a basis for stochastic modeling and implementation of the Industry 4.0 concept, as the tool for forecasting and decision-making for each particular settlement.

Unfortunately, the number of air quality research in Kazakhstan is limited by a few publications, and is absent for Pavlodar. The existing publications show the threatening situation, where air pollution is extremely dangerous for the population. In 2021 annual PM_{2.5} concentrations in Astana (22.5 $\mu\text{g m}^{-3}$) and

Almaty ($35.3 \mu\text{g m}^{-3}$) exceeded the annual WHO limit by 4.5 and 7.1 times, respectively [8]. The daily limits surpassed 151 days in Astana and 217 days in Almaty. $\text{PM}_{2.5}$ levels were highest in winter averaging $35.3 \mu\text{g m}^{-3}$ (Astana) and $76.0 \mu\text{g m}^{-3}$ (Almaty) over the heating season, with coal combustion as a main contributor. The dangerous concentrations of NO_2 and SO_2 exceeded the limits by 2–3 and 1.5–2 times, independently of the seasonality in Ust-Kamenogorsk [9]. Averaged concentrations of TSP slightly exceeded the established limits for the most industrialised part of the city. In the wintertime, some cities of Kazakhstan (e.g., Astana, Almaty, Karagandy) are frequently among the top ten polluted cities globally, with $\text{PM}_{2.5}$ concentration levels ranging between 100 – 200 $\mu\text{g/m}^3$ [10]. Annual average (2015-2017) population-weighted concentrations were Kazakhstan cities was 157, 51, 29, and 41 $\mu\text{g m}^{-3}$ for TSP, NO_2 , SO_2 , and O_3 respectively. We estimated a total of 8134 adult deaths per year attributable to $\text{PM}_{2.5}$ (average over 2015–2017) in the selected 21 cities of Kazakhstan [11].

All the available research attempts to analyze state-of-the-art air pollution with some suggestions for stakeholders. The implementation of intelligent information and communication systems can become the next step in efficient and preventive forecasting and developing respective measures to improve ambient air quality.

Acknowledgements. This work was supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the project BR21882258 “Development of Intelligent Information and Communication Systems Complex for Environmental Emission Monitoring to Make Decisions on Carbon Neutrality”

Conclusions

Establishing a monitoring system necessitates a methodological foundation in the realm of risk and uncertainty management, coupled with the utilization of intelligent information technologies. These technologies are designed to process a diverse range of information, including inaccurate, incomplete, and fuzzy data, presented in the form of data and various knowledge. The pivotal components of the information-analytical system involve the processing of varied information, including inaccurate, incomplete, and fuzzy data, as well as the incorporation of advanced Industrial Internet of Things (IIoT) technologies.

It is noteworthy that the Republic of Kazakhstan currently lacks indigenous developments in the field of Industrial Internet of Things (IIoT), highlighting a reliance on foreign technologies. This underscores the importance of promoting research and development in the realm of IIoT at the national level to enhance technological transferability and innovation processes, especially within the Kazakhstani energy sector industry.

References

1 **Prikaz Ministra** okruzhayushej sredy i vodnyh resursov RK Ob utverzhdenii otdelnyh metodicheskikh dokumentov v oblasti ohrany okruzhayushej sredy 12.06. 2014. № 221-Ө. [On approval of certain methodological documents in the field of environmental protection Order of the Minister of Environment and Water Resources of the RK].

2 **Prikaz Ministra** ohrany okruzhayushej sredy Respubliki Kazahstan 18.04. 2008 № 100-п Ob utverzhdenii otdelnyh metodicheskikh dokumentov v oblasti ohrany okruzhayushej sredy. [Order of the Minister of Environmental Protection of the RK].

3 **Prikaz Ministra** ekologii, geologii i prirodnyh resursov RK 10.03.2021 №63. / Metodika opredeleniya normativov emissij v okruzhayushuyu sredu [Order of the Minister of Ecology, geology and Natural Resources RK].

4 **Directive 2008/50/EC** of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe / OJ L 152, 11.6.2008, p. 1–44 (Special edition in Croatian: Chapter 15 Volume 029 P. 169 – 212).

5 **A Continuous Quantitative Detection Method for Total Mercaptans**, Organic Sulphides, H₂S, and CS₂ for Odouriferous Emissions / P. Vanderstraeten, E. Wauters, E. Muylle, G. Verduyn, E. Vanderheyden & E. F. Vansant Pages 1271-1274 | Accepted 15 Feb 1988, Published online: 08 Mar 2012. DOI:10.1016/s0021-9673(99)00963-2.

6 **Holger Göttel**. Application of continuous emissions measurement systems for the determination of CO₂ emissions, Experience and assessments by the German Emissions Trading Authority (DEHSt) // Holger Göttel, Burkhard Lenzen, November 2019. – p. 34.

7 **Arguchinceva, A. V.** Modeli i metody dlya ocenki raspredeleniya vybrosov v okruzhayushuyu sredu antropogennymi istochnikami [Models and methods for estimating the distribution of emissions into the environment by anthropogenic sources] / Irkutskij gosudarstvennyj universitet, Fundamentalnye issledovaniya 2005. - № 8. – P. 52–54.

8 **Mukhtarov, R. et al.** An episode-based assessment for the adverse effects of air mass trajectories on PM_{2.5} levels in Astana and Almaty, Kazakhstan //Urban Climate. – 2023. – T. 49. – P. 101541. DOI:10.1016/j.uclim.2023.101541

9 **Assanov, D. et al.** Spatiotemporal Patterns of Air Pollution in an Industrialised City—A Case Study of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan //Atmosphere. – 2022. – T. 13. – №. 12. – P. 1956. DOI:10.3390/atmos13121956.

10 **IQAir.com** World's most polluted countries 2020 (PM_{2.5}). <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>. Accessed 06 February 2023.

11 **Kerimray A.** et al. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan //Journal of the Air & Waste Management Association. – 2020. – Т. 70. – №. 11. – pp. 1148–1164. DOI:10.1080/10962247.2020.1813837.

Список использованных источников

1 **Приказ** Министра окружающей среды и водных ресурсов РК от 12 июня 2014 года № 221-Ө. Об утверждении отдельных методических документов в области охраны окружающей среды.

2 **Приказ** Министра охраны окружающей среды РК от 18 апреля 2008 года № 100-п Об утверждении отдельных методических документов в области охраны окружающей среды.

3 **Приказ** Министра экологии, геологии и природных ресурсов РК от 10 марта 2021 года №63. / Методика определения нормативов эмиссий в окружающую среду /11.03.2021. - №22317.

4 **Directive 2008/50/EC** of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe / OJ L 152, 11.6.2008, p. 1–44 (Special edition in Croatian : Chapter 15 Volume 029 –P. 169 – 212).

5 A Continuous Quantitative Detection Method for Total Mercaptans, Organic Sulphides, H₂S, and CS₂ for Odouriferous Emissions / P. Vanderstraeten,E. Wauters,E. Muylle,G. Verduyn,E. Vanderheyden &E. F. Vansant Pages 1271-1274 | Accepted 15 Feb 1988, Published online: 08 Mar 2012. DOI:10.1016/s0021-9673(99)00963-2.

6 **Holger Göttel.** Application of continuous emissions measurement systems for the determination of CO₂ emissions, Experience and assessments by the German Emissions Trading Authority (DEHSt) // Holger Göttel, Burkhard Lenzen and Christian Schneider, November 2019. - p. 34. DEHSt - Homepage - Application of continuous emissions measurement systems (CEMS) for the determination of CO₂ emissions.

7 **Аргучинцева, А. В.** Модели и методы для оценки распределения выбросов в окружающую среду антропогенными источниками / Иркутский государственный университет, Фундаментальные исследования 2005. – № 8. – с 52–54.

8 **Mukhtarov R.** et al. An episode-based assessment for the adverse effects of air mass trajectories on PM_{2.5} levels in Astana and Almaty, Kazakhstan //Urban Climate. – 2023. – Т. 49. – P. 101541. DOI:10.1016/j.uclim.2023.101541

9 **Assanov, D.** et al. Spatiotemporal Patterns of Air Pollution in an Industrialised City—A Case Study of Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan // Atmosphere. – 2022. – Т. 13. – №. 12. – P. 1956. DOI:10.3390/atmos13121956

10 **IQAir.com** World's most polluted countries 2020 (PM2.5). <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>. Accessed 06 February 2023.

11 **Kerimray A.** et al. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan //Journal of the Air & Waste Management Association. – 2020. – Т. 70. – №. 11. – pp. 1148–1164. DOI:10.1080/10962247.2020.1813837.

*** У. Жалмагамбетова¹, И. Радлюк¹, Д. Омербаева¹, А. Нефесов², И. Казамбаев²**

¹Торайғыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Astana IT University, Республика Казахстан, г.Астана

Экологический мониторинг в контексте Казахстана – современное состояние и вызовы для промышленного региона

Экологические проблемы остаются актуальной проблемой для промышленных регионов Казахстана. В то время как законодательные требования к выбросам в окружающую среду постоянно становятся все более жесткими, в системе экологического мониторинга отсутствует несколько структурных факторов.

В этой статье рассматриваются фундаментальные требования к системам экологического мониторинга и рассматриваются методы и модели мониторинга выбросов в окружающую среду на основе источников и факторов воздействия. Подробно описывается структура классического мониторинга, рассматриваются методы, основанные на международном опыте использования существующих систем управления и контроля. Обсуждаются причины и перспективы внедрения системы экологического мониторинга промышленных объектов в Павлодарской области. Особое внимание требуется уделить энергетическому сектору в связи с высокой плотностью расположения крупных предприятий и значительным воздействием на окружающую среду.

Можно сделать вывод, что несовершенство законодательства и устаревшие условия инфраструктуры привели к угрожающему загрязнению атмосферного воздуха. Хотя наблюдения, основанные на ретроспективных данных временных рядов, в настоящее время позволяют

оценить статус-кво, следующим этапом является необходимость внедрения промышленной интеллектуальной информационно-аналитической системы, которая может сыграть ключевую роль в принятии решений по управлению качеством воздуха.

Ключевые слова: экологический мониторинг, выбросы парниковых газов, загрязнение окружающей среды, Индустрия 4.0, качество воздуха

*** У. Жалмагамбетова¹, И. Раделюк¹, Д. Омербаева¹, А. Нефтесов², И. Казамбаев²**

¹Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Қазақстан контекстіндегі экологиялық мониторинг-индустриалды аймақ үшін заманауи және сын-қатерлер

Экологиялық проблемалар Қазақстанның өнеркәсіптік өңірлері үшін өзекті мәселе болып қала береді. Қоршаған ортаға шығарындыларға қойылатын заңнамалық талаптар үнемі қатайып келе жатқанымен, экологиялық мониторинг жүйесінде бірнеше құрылымдық факторлар жоқ.

Бұл мақалада экологиялық мониторинг жүйелеріне қойылатын негізгі талаптар және әсер ету көздері мен факторларына негізделген қоршаған ортаға шығарындыларды бақылау әдістері мен модельдері қарастырылады. Классикалық мониторингтің құрылымы егжей-тегжейлі сипатталған, қолданыстағы басқару және бақылау жүйелерін қолданудың халықаралық тәжірибесіне негізделген әдістер қарастырылған. Павлодар облысында өнеркәсіптік объектілердің экологиялық мониторингі жүйесін енгізудің себептері мен перспективалары талқыланады. Энергетика секторы жоғары тығыздығы мен аймақтағы қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етуіне байланысты ерекше назар аударуы керек.

Заңнамадағы кемшіліктер мен инфрақұрылымның ескірген жағдайлары қоршаған ауаның ластану қаупіне әкелді деген қорытынды жасауға болады. Уақыт қатарларының ретроспективті деректеріне негізделген бақылаулар қазіргі уақытта ең заманауи технологияларды көрсеткенімен, өнеркәсіптік интеллектуалды ақпараттық-аналитикалық жүйені енгізуге шұғыл шақыру ауа сапасын басқару саласында шешім қабылдауда шешуші рөл атқаруы мүмкін.

Кілтті сөздер: экологиялық мониторинг, парниктік газдар шығарындылары, қоршаған ортаның ластануы, Өнеркәсіп 4.0, ауа сапасы

SRSTI 44.29.37

DOI:xxxxxxxxxxxxxx

S. K. Zhumazhanov¹, S. K. Akimzhanov², A. B. Zhantlessova³, Zh. B. Issabekov⁴, *B. B. Issabekova⁴

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

²Republican State Enterprise «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology», Republic of Kazakhstan, Astana

³Kazakh State University named after S.Seifullin, Kazakhstan, Astana

⁴Toraigrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

MATHEMATICAL MODELING OF NON-SINUSOIDAL MODES OF TRANSMISSION LINES

Mathematical modeling of non-sinusoidal modes in power transmission lines is key to understanding and evaluating their operation in real conditions. This paper addresses the need to develop a model that takes into account nonlinearities and higher harmonics, which are widely present in modern power transmission networks. Operational data and energy audit results indicate the presence of non-sinusoidal modes, which requires the development of adequate mathematical models for accurate analysis.

The study of multi-conductor transmission lines involves the use of mathematical models including telegraphic equations. However, the full adequacy of such a model requires additional consideration of several aspects, including two chain lines, surface effect, presence of lightning protection cables and ground effects on power transmission processes.

This paper presents a mathematical model that takes into account the above aspects for multi-conductor transmission lines. The features of two circuit lines, the surface effect in the wires, the presence of lightning protection cables and the influence of the earth on power transmission are taken into account.

This model is the result of improving and extending the existing mathematical framework for analyzing multi-conductor power transmission systems, which significantly improves the accuracy and reliability of predictions and calculations in the field of electrical engineering and electric power engineering.

Keywords: telegraphic equations, power supply system, power losses, loss reduction, non-sinusoidal modes, Cayley-Hamilton theorem.

Introduction. Non-sinusoidal modes in the operation of modern power lines are a given, which is confirmed not only by publications, but also by the materials of energy audits conducted to identify higher harmonic components

[1]. For a full-fledged study of non-sinusoidal modes it is required not only to state the fact of its presence, but also to draw up a proper model of the power line taking into account the factors maximally approaching the results of calculations to the operational ones. It is important to take into account the requirements to such a model. The mathematical model of non-sinusoidal mode should take into account the following features:

- distributed line parameters for higher frequencies;
- surface effect in conductors for higher harmonics;
- the possibility of calculating the main and higher harmonics of voltages and currents.

The fulfillment of the above tasks is satisfied by a mathematical model in the form of telegraphic equations for multi-conductor transmission lines [2]. But this model requires additional consideration of:

- two circuit lines;
- surface effect;
- lightning protection cables;
- ground influence.

Materials and Methods. For multiconductor lines the mathematical model meeting the given requirements looks as follows

$$\dot{U}_x(\omega_n) = A e^{-\lambda_u(\omega_n)x} + B e^{\lambda_u(\omega_n)x}; \quad (1.1)$$

$$\dot{I}_x(\omega_n) = C e^{-\lambda_i(\omega_n)x} + D e^{\lambda_i(\omega_n)x}.$$

$$\begin{aligned} \frac{d\dot{U}_x}{dx} = -\dot{Z}(\omega_n)\dot{I}_x(\omega_n) = -\lambda_u(\omega_n)e^{-\lambda_u(\omega_n)x}A(\omega_n) + \\ + \lambda_u(\omega_n)e^{\lambda_u(\omega_n)x}B(\omega_n); \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\frac{d\dot{I}_x}{dx} = -\dot{Y}(\omega_n)\dot{U}_x(\omega_n) = -\lambda_i(\omega_n)e^{-\lambda_i(\omega_n)x}C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n)e^{\lambda_i(\omega_n)x}D(\omega_n);$$

Here $\dot{U}_x(\omega_n)$, $\dot{I}_x(\omega_n)$ – column vectors of complex voltages and currents of frequency ω_n – n -th harmonic of dimension $m \times 1$ in the section at a distance x from the beginning of the line;

λ_u , λ_i – complex square matrices of dimension $m \times m$, representing corresponding functions from matrices of eigenvalue and mutual impedances and conductivities of wires and cables at the frequency of the n -th harmonic $Z(\omega_n)$, $Y(\omega_n)$ of dimension also $m \times m$: $\lambda_u(\omega_n) = \sqrt{Z(\omega_n)Y(\omega_n)}$, $\lambda_i(\omega_n) = \sqrt{Y(\omega_n)Z(\omega_n)}$.

A $A(\omega_n)$, $B(\omega_n)$, $C(\omega_n)$, $D(\omega_n)$ are constant column vectors of dimension $m \times 1$ calculated from the boundary conditions of 1.2 at the frequency of the n -th harmonic:

at the beginning of the line:

$$-\dot{Z}(\omega_n)\dot{I}_H(\omega_n) = -\lambda_u(\omega_n)A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n)B(\omega_n); \quad (1.3)$$

down the line:

$$\begin{aligned} -\dot{Z}(\omega_n)\dot{I}_K(\omega_n) &= -\lambda_u(\omega_n)e^{-\lambda_u(\omega_n)l}A(\omega_n) + \lambda_u(\omega_n)e^{\lambda_u(\omega_n)l}B(\omega_n); \\ -\dot{Y}(\omega_n)\dot{U}_K(\omega_n) &= -\lambda_i(\omega_n)e^{-\lambda_i(\omega_n)l}C(\omega_n) + \lambda_i(\omega_n)e^{\lambda_i(\omega_n)l}D(\omega_n). \end{aligned} \quad (1.4)$$

The total number of mode parameters at the frequency of the n -th harmonic component is $16m$ and includes real and imaginary components of voltages and currents of all wires and cables at the beginning and end of the line, as well as real and imaginary components of column vectors $A(\omega_n)$, $B(\omega_n)$, $C(\omega_n)$, $D(\omega_n)$.

For convenience of transformation B the above equations, we can divide the parameters into mode dependent and mode independent. The process will consist of the following steps:

1) Determining the column vector $A(\omega_n)$, $B(\omega_n)$ by solving a system of matrix equations based on the first equation of the system (1.1) for the beginning and end of the line:

$$\dot{U}_H(\omega_n) = A(\omega_n) + B(\omega_n);$$

$$\dot{U}_K(\omega_n) = e^{-\lambda_u(\omega_n)l}A(\omega_n) + e^{\lambda_u(\omega_n)l}B(\omega_n).$$

Here l is the length of the line, and the indices n and k denote the beginning and end of the line.

The solution of the system when written in block form has the form:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A(\omega_n) \\ B(\omega_n) \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} E & E \\ e^{-\lambda_u(\omega_n)l} & e^{\lambda_u(\omega_n)l} \end{vmatrix}^{-1} \times \begin{vmatrix} \dot{U}_H(\omega_n) \\ \dot{U}_K(\omega_n) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \dot{U}_H(\omega_n) \\ \dot{U}_K(\omega_n) \end{vmatrix}, \end{aligned}$$

where E is a unit complex matrix of dimension $m \times m$.

whence

$$\begin{aligned} A(\omega_n) &= H_{11}\dot{U}_H(\omega) + H_{12}\dot{U}_K(\omega) \\ B(\omega_n) &= H_{21}\dot{U}_H(\omega) + H_{22}\dot{U}_K(\omega). \end{aligned}$$

2) Determination of the vector columns $C(\omega_n)$, $D(\omega_n)$ by solving the second equation from the system of matrix equations (1.1) for the beginning and end of the line:

$$\dot{I}_H(\omega_n) = C + D$$

$$\dot{I}_K(\omega_n) = C e^{-\lambda_i(\omega_n)x} + D e^{\lambda_i(\omega_n)x}.$$

The solution of the system when using block matrix notation is of the form:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} C(\omega_n) \\ D(\omega_n) \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} E & E \\ e^{-\lambda_u(\omega_n)l} & e^{\lambda_u(\omega_n)l} \end{vmatrix}^{-1} \times \begin{vmatrix} \dot{I}_H(\omega_n) \\ \dot{I}_K(\omega_n) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \dot{I}_H(\omega_n) \\ \dot{I}_K(\omega_n) \end{vmatrix}, \end{aligned}$$

whence

$$\begin{aligned} C(\omega_n) &= W_{11}\dot{I}_H(\omega) + W_{12}\dot{I}_K(\omega). \\ D(\omega_n) &= W_{21}\dot{I}_H(\omega) + W_{22}\dot{I}_K(\omega). \end{aligned}$$

3) Determination of the vector-column voltages and currents at the beginning and end of the line $\dot{U}_H(\omega_n)$, $\dot{U}_K(\omega_n)$, $\dot{I}_H(\omega_n)$, $\dot{I}_K(\omega_n)$ using the system equations (1.3, 1.4) taking into account certain values of the integration constant vectors $A(\omega_n)$, $B(\omega_n)$, $C(\omega_n)$, $D(\omega_n)$:

$$\begin{aligned} Y(\omega_n)U_H(\omega_n) - \lambda_i(\omega_n)[W_{11}I_H(\omega_n) + W_{12}I_K(\omega_n)] + \\ + \lambda_i(\omega_n)[W_{21}I_H(\omega_n) + W_{22}I_K(\omega_n)] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y(\omega_n)U_K(\omega_n) - \lambda_i(\omega_n)e^{-\lambda_i(\omega_n)l}[W_{11}I_H(\omega_n) + W_{12}I_K(\omega_n)] + \\ + \lambda_i(\omega_n)e^{\lambda_i(\omega_n)l}[W_{21}I_H(\omega_n) + W_{22}I_K(\omega_n)] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z(\omega_n)I_K(\omega_n) - \lambda_u(\omega_n)[H_{11}U_H(\omega_n) + H_{12}U_K(\omega_n)] + \\ + \lambda_u(\omega_n)[H_{21}U_H(\omega_n) + H_{22}U_K(\omega_n)] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z(\omega_n)I_K(\omega_n) - \lambda_u(\omega_n)e^{-\lambda_u l}[H_{11}U_H(\omega_n) + H_{12}U_K(\omega_n)] + \\ + \lambda_u(\omega_n)e^{\lambda_u l}[H_{21}U_H(\omega_n) + H_{22}U_K(\omega_n)] = 0 \end{aligned}$$

The most difficult procedure in these calculations is to compute functions from matrices: $\lambda_u(\omega_n) = \sqrt{Z(\omega_n)Y(\omega_n)}$, $\lambda_i(\omega_n) = \sqrt{Y(\omega_n)Z(\omega_n)}$, $e^{-\lambda_u(\omega_n)l}$, $e^{\lambda_u(\omega_n)l}$, $e^{-\lambda_i(\omega_n)l}$, $e^{\lambda_i(\omega_n)l}$. The computation of these functions is performed using the Cayley-Hamilton theorem [3], where the matrix function is defined as

$$f(A) = \frac{1}{\Delta} \sum_{k=1}^n \Delta_{n-k} A^{n-k},$$

here Δ is the Vandermonde determinant of $\det[\lambda_i^{k-1}]$,

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \begin{pmatrix} 1 & \lambda_1 & \lambda_1^2 & \dots & \lambda_1^{n-1} \\ 1 & \lambda_2 & \lambda_2^2 & \dots & \lambda_2^{n-1} \\ 1 & \lambda_3 & \lambda_3^2 & \dots & \lambda_3^{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \lambda_n & \lambda_n^2 & \dots & \lambda_n^{n-1} \end{pmatrix}$$

where λ_i are the eigenvalues of the matrix A ;

Δ_j is the determinant obtained if in Δ instead of $\lambda_1^j, \lambda_2^j, \dots, \lambda_n^j$ we substitute the values of the functions $f(\lambda_1), f(\lambda_2), \dots, f(\lambda_n)$.

Results and discussion. In those cases when the harmonic components of the load currents are not known in advance and are determined during the calculation process depending on the measured voltage spectra using appropriate mathematical models, e.g. [4; 5] the calculation should be performed iteratively.

Evaluation of the obtained results using a new mathematical model for multi-conductor transmission lines. This involves comparing the model data with experimental measurements or with data obtained using other models [1].

A discussion of how effectively accounting for two chain lines, surface effects, lightning protection cables and ground effects in the model improves the accuracy and fit of the model to real power transmission conditions [6; 7].

Consideration of the effect of each of the considered aspects on the power transmission characteristics of a multi-chain line system. For example, how the transmission parameters change when the surface effect or lightning protection ropes are taken into account.

A discussion of the limitations of the model and possible ways to improve or extend it. This may include pointing out missing aspects that have not been accounted for in this model and opportunities for further research in this area [8; 9].

A discussion of how the results obtained can be useful for practical applications in the electric power industry, transmission network design, or for power system optimization [10].

These aspects of the results and discussions can serve as a basis for understanding the applicability and significance of the new mathematical model for multi-conductor transmission lines in engineering and scientific practice.

Information about financing.

This work was supported by the MES of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP09058186).

Conclusion. The presented equations allow the study of the modes of lines with different number of wires and lightning protection cables. Also on the basis of these equations it is possible to determine power losses, and at measurements on daily and more intervals calculation of electric energy losses

Non-sinusoidal modes in transmission lines require a suitable mathematical model to account for distributed parameters, surface effects and higher harmonics, which will provide more accurate research results.

It is important to consider distributed line parameters for higher frequencies, surface effects in conductors and the ability to calculate both fundamental and higher harmonics of voltages and currents.

In cases where the harmonics of load currents are not known in advance and are determined during the calculation process, iterative methods are used for accurate modeling taking into account the measured voltage spectra.

The developed equations allow studying different modes of transmission lines with different number of wires and lightning protection ropes, as well as determining power and electrical energy losses at different time intervals.

This work highlights the importance of mathematical modeling for more accurate analysis of non-sinusoidal modes in transmission lines, which is of key importance for efficient and reliable operation of power grids.

References

1 **Zhantlessova, A., Zhumazhanov, S., Akimzhanov, T., et al.** Instrumental Research on the Voltage Harmonic Distortion Coefficient in the Modern 110 kV Urban Electric Network. [Text]. International Journal on Energy Conversion (IRECON). – 2023. – № 11(2). – P. 56.

2 **Bazutkin, V. V., Dmokhovskaya, L. F.** Raschety perekhodnyh processov i perenapryazhenij [Calculations of transients and overvoltages]. [Text]. Moscow, Energoatomizdat. – 1983. – P. 328.

3 **Korn, G., Korn, T.** Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [Handbook of Mathematics for Scientists and Engineers]. [Text]. Moscow, Nauka. – 1974. – P. 832

4 **Kharlov, N. N.** Parametricheskaya model' uzla nagruzki s nelinejnymi elektropriyomnikami [Parametric model of a load node with nonlinear electric receivers]. [Text]. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2005. – №308(5). – P. 155-159.

5 **Kharlov, N. N.; Ivanov, V. V.; Pogonin, A. V. et al.** Formirovanie uravnenij ustanovivshihsiya nesinusoidal'nyh rezhimov elektricheskikh sistem s uchetom raspredelennosti parametrov LEP [Formation of the equations of steady-state non-sinusoidal modes of electrical systems taking into account the distribution of power line parameters]. [Text]. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2009. – №314(4). – P. 56-59.

6 **Parmantier, J. P.** Numerical coupling models for complex systems and results [Text]. IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility. – 2004. – T. 46. – №. 3. – P. 359-367.

7 **Michiorri, A. et al.** Forecasting for dynamic line rating [Text]. Renewable and sustainable energy reviews. – 2015. – T. 52. – P. 1713-1730.

8 **Issabekov, Zh. B., Issabekova, B. B., Zhantlessova, A. B., et al.** Kommercheskie poteri elektricheskoy energii v raspredelitel'nyh elektricheskikh setyah [Commercial losses of electric energy in distribution electric networks]. [Text]. Vestnik Toraigyrov University. Seriya energeticheskaya. – 2022 – № 3. – P. 70-79.

9 **Issabekov, Zh. B., Issabekova, B. B., Zhantlessova, A. B., et al.** Tekhnicheskie poteri v raspredelitel'nyh elektricheskikh setyah [Technical losses in distribution electric networks]. [Text]. Vestnik Toraigyrov University. Serie energeticheskaya. – 2022. – № 4. – P. 97-111.

10 **Del Valle, Y. et al.** Particle swarm optimization : basic concepts, variants and applications in power systems [Text]. IEEE Transactions on evolutionary computation. – 2008. – T. 12. – №. 2. – P. 171-195.

Литература

1 **Zhantlessova, A., Zhumazhanov, S., Akimzhanov, T., et al.** Instrumental Research on the Voltage Harmonic Distortion Coefficient in the Modern 110 kV Urban Electric Network. [Text]. International Journal on Energy Conversion (IRECON). – 2023. – № 11(2). – P. 56.

2 **Базуткин, В. В., Дмоховская, Л. Ф.** Расчеты переходных процессов и перенапряжений. [Текст]. Москва, Энергоатомиздат. – 1983. – С. 328.

3 **Корн, Г., Корн, Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. [Текст]. Москва, Наука. – 1974. – С. 832.

4 **Харлов, Н. Н.** Параметрическая модель узла нагрузки с нелинейными электроприёмниками [Текст]. Известия Томского политехнического университета. – 2005. – №308(5). – С. 155-159.

5 **Харлов, Н. Н., Иванов, В. В., Погонин, А. В. и др.** Формирование уравнений установившихся несинусоидальных режимов электрических систем с учетом распределенности параметров ЛЭП. [Текст]. Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 314(4). – С. 56-59.

6 **Parmantier, J. P.** Numerical coupling models for complex systems and results [Text]. IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility. – 2004. – T. 46. – №. 3. – P. 359-367.

7 **Michiorri, A. et al.** Forecasting for dynamic line rating [Text]. Renewable and sustainable energy reviews. – 2015. – T. 52. – P. 1713-1730.

8 **Исабеков, Ж. Б., Исабекова, Б. Б., Жантлесова, А. Б., и др.** Коммерческие потери электрической энергии в распределительных электрических сетях. [Текст]. Вестник Торайгыров университета. Серия энергетическая. – 2022 м № 3. – С. 70-79.

9 **Исабеков, Ж. Б., Исабекова, Б. Б., Жантлесова, А. Б., и др.** Технические потери в распределительных электрических сетях . [Текст].

Вестник Торайғыров университета. Серия энергетическая. –2022. – № 4. – С. 97-111.

10 **Del Valle, Y. et al.** Particle swarm optimization : basic concepts, variants and applications in power systems [Text]. IEEE Transactions on evolutionary computation. – 2008. – № 12(2). – P. 171-195.

Material received on 12.12.23.

С. К. Жумажанов¹, С. К. Акимжанов², А. Б. Жантлесева³, Ж. Б. Исабеков⁴, Б. Б.Исабекова⁴

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана

²Республиканское государственное предприятие «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», Республика Казахстан, г. Астана

³Казахский государственный университет им. С.Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

⁴Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Математическое моделирование несинусоидальных режимов в линиях электропередачи является ключевым для понимания и оценки их работы в реальных условиях. В данной работе рассматривается необходимость разработки модели, учитывающей нелинейности и высшие гармоники, которые широко присутствуют в современных сетях передачи электроэнергии. Эксплуатационные данные и результаты энергоаудита свидетельствуют о наличии несинусоидальных режимов, что требует создания адекватных математических моделей для точного анализа.

Исследование многопроводных линий электропередачи подразумевает использование математических моделей, включающих телеграфные уравнения. Однако, для полной адекватности такой модели требуется дополнительный учет нескольких аспектов, включая две цепные линии, поверхностный эффект, наличие грозозащитных тросов и воздействие земли на процессы передачи электроэнергии.

В данной статье представлена математическая модель, учитывающая перечисленные аспекты для многопроводных линий электропередачи. Учтены особенности двух цепных линий, поверхностный эффект в проводниках, наличие грозозащитных тросов и влияние земли на передачу электроэнергии.

Эта модель является результатом усовершенствования и расширения существующей математической базы для анализа

многопроводных систем передачи электроэнергии, что существенно повышает точность и достоверность прогнозов и расчетов в сфере электротехники и электроэнергетики.

Ключевые слова: *телеграфные уравнения, система электроснабжения, потери электрической энергии, снижение потерь, несинусоидальные режимы, теорема Кэли-Гамильтона.*

С. К. Жумажанов¹, С. К. Акимжанов², А. Б. Жантлесова³, Ж. Б. Исабеков⁴, Б. Б. Исабекова⁴

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²«Қазақстандық стандарттау және метрология институты» Республикалық мемлекеттік кәсіпорны, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

³«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

⁴Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 12.12.23 түсті.

Электр желілеріндегі синусоидалы емес режимдерді математикалық модельдеу олардың нақты әлемдегі жұмысын түсіну және бағалау үшін маңызды. Бұл жұмыста қазіргі заманғы электр беру желілерінде кеңінен кездесетін сызықтық емес және жоғары гармониканы ескеретін модель жасау қажеттілігі қарастырылады. Пайдалану деректері мен энергия аудитінің нәтижелері синусоидалы емес режимдердің болуын көрсетеді, бұл дәл талдау үшін барабар математикалық модельдерді құруды талап етеді.

Көп сымды электр желілерін зерттеу телеграф теңдеулерін қамтитын математикалық модельдерді қолдануды қамтиды. Алайда, мұндай модельдің толық сәйкестігі бірнеше аспектілерді, соның ішінде екі тізбекті желіні, беттік эффектін, найзағайдан қорғайтын кабельдердің болуын және жердің электр энергиясын беру процестеріне әсерін қосымша есепке алуды қажет етеді.

Бұл мақалада көп сымды электр желілері үшін аталған аспектілерді ескеретін математикалық модель берілген. Екі тізбекті желінің ерекшеліктері, сымдардағы беттік әсер, найзағайдан қорғайтын кабельдердің болуы және жердің электр энергиясын беруге әсері ескеріледі.

Бұл модель электр энергетикасы мен электр энергетикасы саласындағы болжамдар мен есептеулердің дәлдігі мен сенімділігін едәуір арттыратын электр энергиясын берудің көп сымды жүйелерін талдау

үшін қолданыстағы математикалық базаны жетілдіру мен кеңейтудің нәтижесі болып табылады.

Кілтті сөздер: телеграф теңдеулері, электрмен жабдықтау жүйесі, электр энергиясының жоғалуы, шығынның төмендеуі, синусоидалы емес режимдер, Кейли-Гамильтон теоремасы.

МРНТИ 44.29.31

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

***Д. Д. Исабеков, Н. Б. Исаев**

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

В статье авторами представлено раскрытие основного вопроса современной энергетики, которым является реализация защит для электрооборудования, не использующих традиционные трансформаторы тока (ТТ). Показано, что для построения таких защит можно использовать катушку индуктивности, установив её вблизи токоведущих шин электроустановки, так как она обладает следующими свойствами: нет необходимости в уменьшении влияния температуры, одномоментно работает, как измерительный преобразователь и измерительный органа защиты. Представлена инновационная схема реализации максимальной токовой защиты (МТЗ) электроустановок на катушках индуктивности, подключенных к ячейкам комплектных распределительных устройств (КРУ), обладающая при этом эффектом ресурсосбережения используемых материалов. Рассмотрен принцип действия альтернативной ресурсосберегающей МТЗ. Ресурсосберегаемость данной защиты заключается в использовании катушек индуктивностей, являющихся, как по стоимости, так и по весогабаритным параметрам на порядок дешевле и меньше по размеру и весу, чем вышесказанные традиционные трансформаторы тока. Представленная новая схема её реализации, собирающаяся из простых и легкодоступных элементов, ещё раз подтверждает возможность построения токовых защит для различных электроустановок, подключенных к ячейкам КРУ, напряжением 6–10 кВ, при установке катушек индуктивности внутри них.

Ключевые слова: МТЗ, катушка индуктивности, ячейка, ресурсосбережение, электроустановка.

Введение

Токковая защита, такая как максимальная токовая защита в силу своей простоты и высокой надежности нашла свое широкое применение на промышленных предприятиях для защиты электроустановок напряжением 6–35 кВ от коротких замыканий. Традиционно она получает информацию о токе в фазе защищаемой электроустановки, как и большинство других защит [1;2] от измерительных трансформаторов тока (ТТ) с

металлическими сердечниками. Эти трансформаторы тока имеют ряд общеизвестных недостатков [3], из-за которых на международных советах по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ) неоднократно отмечалось, например [4], что одной из актуальных задач электроэнергетики является разработка релейной защиты без вышеназванных ТТ. Работы по устранению указанных недостатков, созданию новых преобразователей тока, а также альтернативных ресурсосберегающих защит, не использующих измерительные трансформаторы тока с металлическими сердечниками, начатые во второй половине прошлого столетия [5; 6; 7; 8] актуальны и сейчас. [9; 10; 11]. Для построения альтернативной максимальной токовой защиты без традиционных трансформаторов тока были выбраны катушки индуктивности [12]. В данной работе рассмотрен принцип действия разработанной МТЗ для различных электроустановок, выполненной в виде устройства.

Материалы и методы. Проработка различных источников в результате исследования, позволила предложить новое альтернативное традиционным защитами устройство МТЗ, обладающее эффектом ресурсосбережения и применимое для различных электроустановок, напряжением 6–10 кВ. В таких защитах катушка индуктивности выполняет одновременно функции датчика тока и измерительного органа защиты и реагируют на магнитное поле, создаваемое токами в фазах электроустановки. Для восприятия магнитного поля катушка индуктивности может крепиться вблизи токоведущих шин [9;10]. В данной работе рассматривается вариант крепления катушки индуктивности на безопасном расстоянии по ПУЭ, так как тогда не нужны специальные мероприятия по обеспечению безопасности, значительно меньше вероятность её пробоя, при этом проще и точнее регулировать параметры срабатывания защиты-уставки (осуществляется это изменением дистанции h от катушки индуктивности до токоведущей шины ячейки) [13].

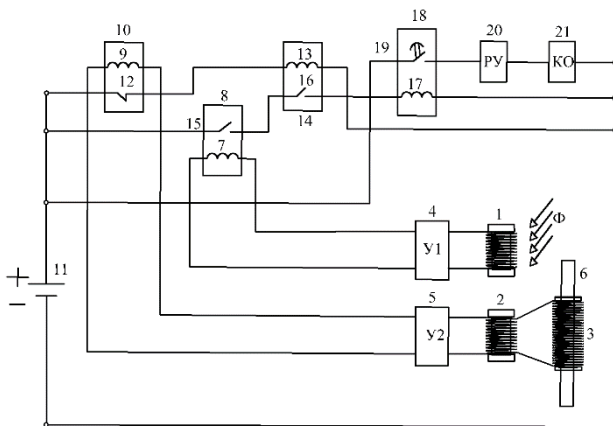
Результаты и обсуждение. Представленная ресурсосберегающая максимальная токовая защита, выполненная в виде устройства, в своем составе содержит первую 1, вторую 2 и третью 3 катушку индуктивности, причем первая 1 подключена выводам первого усилителя напряжения (У1)4, а вторая 2-к выводам второго усилителя напряжения (У2)5 (рис.1). Первый 4 и второй 5 усилители напряжения увеличивают значение напряжения, снимаемого с выводов двух катушек индуктивностей: первой 1 и второй 2 до требуемого. Третья катушка индуктивности 3, состоящая из первичной и вторичной обмоток, намотана на токоведущую шину 6, у которой вывод вторичной обмотки подключен ко входу второй катушки индуктивности 2 (рис.1). Первая катушка индуктивности 1 располагается в кабельном отсеке любой серии ячеек КРУ и напротив их токоведущей

шины 6, а вторая катушка индуктивности 2 – в релейном шкафу данных ячеек. Выход первого усилителя напряжения 4 подключен к обмотке 7 первого промежуточного реле 8, а выход второго усилителя напряжения 5 подключен к обмотке 9 реле минимального напряжения 10, источник постоянного тока 11, с полюса «+» которого положительный потенциал поступает к контакту на размыкание 12 реле минимального напряжения 10, к которому подсоединён первый обмотки 13 второго промежуточного реле 14. К контакту на замыкание 15 первого промежуточного реле 8 подключен контакт на замыкание 16 второго промежуточного реле 14, который в свою очередь подключен к обмотке 17 реле времени 18. Положительный потенциал полюса «плюс» источника постоянного тока 11 приходит к контакту с выдержкой времени на замыкание 19 реле времени 18, а данный контакт в свою очередь подключен к указательному реле (РУ)20, а с него к первому выводу катушки отключения (КО)21 выключателя электроустановки. Второй вывод обмотки: 13 второго реле 14; 17 реле времени 18 и катушки отключения (КО)21 подключены к полюсу «минус» источника постоянного тока 11 (рис.1).

Рисунок 1–Функциональная схема альтернативной ресурсосберегающей МТЗ

Принцип действия альтернативной ресурсосберегающей МТЗ в момент короткого замыкания на защищаемой электроустановке базируется на влиянии магнитного потока «Ф», созданного током шины 6 на первую катушку индуктивности 1 и снятия со вторичной обмотки третьей катушки 3 вторичного напряжения и подачей его на вторую катушку индуктивности 2 (рис.1).

Устройство представляет из себя комплект защиты,



устанавливаемый в ячейках комплектных и закрытых распределительных

устройств, и в токопроводах для каждой фазы своим пакетом. Первая катушка индуктивности 1 устанавливается напротив шины 6 и в том месте, где выявляется наибольшее значение «Ф».

При повреждении на присоединённой электроустановке, ток в ее шине 6 увеличивается, и первая 1 и третья 3 катушки индуктивности реагируют на изменения магнитного поля, при чем первая катушка индуктивности 1 установлена на безопасном по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) расстоянии от данной шины 6, и в результате на первой катушке индуктивности 1 и на вторичной обмотке третьей катушки индуктивности 3 индуцируется напряжение, подаваемое на вторую катушку индуктивности 2 [14] (рис.1). Так как значения снимаемого напряжения с выводов катушек индуктивностей 1 и 2 равны 5 и 1В, то они увеличиваются с помощью первого 4 усилителя до 220В, а с помощью второго 5 усилителя до значения, равного $U=100В$. После этого данные значения напряжения с первого усилителя напряжения 4 подаются на обмотку 7 первого промежуточного реле 8, а со второго усилителя 5-к обмотке 9 реле минимального напряжения 10 (рис.1). В результате у реле 8 срабатывает контакт на замыкание 15, отправляя потенциал «+» с источника постоянного тока 11 к контакту на замыкание 16 реле 14, с которого этот потенциал «+» приходит на обмотку 17 реле времени 18. После потенциал «+» источника 11 приходит к контакту 19 реле времени 18. Одновременно с реле 8 срабатывает реле минимального напряжения 10, у которого размыкается контакт 12, в результате чего обмотка 7 реле 14 теряет питание и это реле срабатывает. С контакта 19 реле времени 18 потенциал «+» источника 11 приходит к указательному реле (РУ)20, которое сработав подаёт потенциал «+» на первый вывод обмотки катушки отключения (КО)21 выключателя. И как итог, защищаемая электроустановка отключена от общей электросети (рис.1). Второй вывод: обмотки 13 второго промежуточного реле 14; обмотки 17 реле времени 18 и (КО)21 присоединены к полюсу «минус» источника 11 (рис.1).

В симметричном цикле работы электроустановки, значения напряжения в первом 4 и втором 5 усилителях отрегулированы так, чтобы они срабатывали лишь при появлении на их выводах напряжения 5 или 1В, а при значениях менее этого, сигнал на отключение электроустановки не поступает.

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

Выводы

Альтернативная ресурсосберегающая максимальная токовая защита, реализуется применением первой и второй катушек индуктивностей, а третья катушка индуктивности, состоящая из первичной

и вторичной обмоток, намотанная на токоведущую шину выполняет функции трансформатора напряжения. Вторая катушка индуктивности при этом предназначена для повышения чувствительности защиты. Данная максимальная токовая защита выполняется с двумя пусковыми органами: первой и второй катушками индуктивности, как в традиционной МТЗ с такими же пусковыми органами, только тока и минимального напряжения. Разработанная защита не содержит в своём составе традиционные измерительные ТТ.

Список использованных источников

- 1 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.
- 2 **Шнеерсон, Э. М.** Цифровая релейная защита. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
- 3 **Казанский, В. Е.** Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
- 4 **Дьяков, А. Ф.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – №4. – С. 7-16.
- 5 **Кожович, Л. А., Бишоп М. Т.** Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматике энергосистем: сб. докл. междунар. науч.-технич. конф. – М. : Научно-инженерное информационное агентство, 2009. – С. 39–48.
- 6 **Котенко, Г. И.** Магниторезисторы. – Л.: Энергия, 1972. – 80 с.
- 7 **Егизарян, Г. А., Стафеев, В. И.** Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М.: Радио и связь, 1987. –88 с.
- 8 **Карабанов, С. М., Майзельс, Р. М., Шоффа В. Н.** Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе. – Долгопрудный : Издательский Дом Интеллект, 2011. – 408 с.
- 9 Патент № 2704792 Российской Федерации, МПК H02H 3/08. Устройство для токовой защиты электроустановки / М. Я. Клецель, Д. Д. Исабеков, А. П. Кислов, И. И. Шолохова; опубл. 31.10.19, бюл. №31.
- 10 Патент № 2670720 Российской Федерации, МПК H02H 3/08. Устройство для крепления герконов в ячейках комплектных распределительных устройств / М. Я. Клецель, Д. Д. Исабеков, О. М. Талипов, И. И. Шолохова; опубл. 29.11.2018, бюл. №34.
- 11 **Issabekov, D. D, Kletsel, M. Ya., Zhantlesova, A. B., Mayshev, P. N., Mashrapov, V. E.** «New filters for symmetrical current components» // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – №101. – p. 85-91.

- 12 **Басс, Э. И.** Катушки реле защиты автоматики. – М. : Энергия, 1974. –80 с.
- 13 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан: утв. 20 марта 2015 года, №230 // adilet.zan.kz.

References

- 1 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashhita i avtomatika sistem e`lektrosnabzheniya: uchebnik dlya vuzov [Relay protection and automation of power supply systems]– Izd. 4-e, perer. i dop. [Text]– Moscow : Vy`sshaya shkola, 2006. – 639 p.
- 2 **Shneerson, E. M.** Cifrovaya relejnaya zashhita [Digital relay protection] [Text]– Moskva: E`nergoatomizdat, 2007. – 549 p.
- 3 **Kazanskij, V. E.** Izmeritel`ny`e preobrazovateli toka v relejnoj zashhite [Current transducers in relay protection] [Text] – Moscow : E`nergoatomizdat, 1988. – 240 p.
- 4 **D`yakov, A. F.** E`lektroe`nergetika mira v nachale XXI stoletiya (po materialam 39-j sessii SIGRE`, Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39 session of CIGRE, Paris)] [Text]] // E`nergetika za rubezhom. – 2004. – №4–pp.7–16.
- 5 **Kozhovich, L. A., Bishop, M. T.** Sovremennaya relejnaya zashhita s datchikami toka na baze katushki Rogovskogo [Modern relay protection with current sensors based on the Rogowski coil] // Sovremenny`e napravleniya razvitiya relejnoj zashhity` i avtomatiki e`nergosistem: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-texnich. konf. [Text] – Moscow : Nauchno-inzhenernoe informacionnoe agentstvo, 2009. – pp. 39–48.
- 6 **Kotenko G. I.** Magnitorezistory` [Magnetoresistors] [Text] – Leningrad : E`nergiya, 1972. – 80 p.
- 7 **Egiazaryan, G. A., Stafeev, V. I.** Magnitodiody`, magnitotranzistory` i ix primeneniye [Magnetodiodes, magnetotransistors and their applications] [Text] – Moscow : Radio i svyaz`, 1987. – 88 p.
- 8 **Karabanov, S. M., Majzel`s, R. M., Shoffa, V. N.** Magnitoupravlyaemy`e kontakty` (gerkony`) i izdeliya na ix osnove [Magnetically actuated contacts (reed contacts) and products based on them] [Text] –Dolgoprudny`j : Izdatel`skij Dom Intellekt, 2011. – 408 p.
- 9 **Isabekov, D. D., Klecel`, M. Ya., Kislov, A. P., Sholoxova, I. I.** Ustrojstvo dlya tokovoj zashhity` e`lektroustanovki [Device for current protection of an electrical installation] / Patent № 2704792 Rossijskoj Federacii, opubl. 31.10.19.
- 10 **Isabekov, D. D., Klecel`, M. Ya., Talipov, O. M., Sholoxova, I. I.** Ustrojstvo dlya krepleniya gerkonov v yachejkax komplektny`x raspreditel`ny`x ustrojstv [Device for fixing reed switches in the cells of complete switchgear] / Patent № 2670720 Rossijskoj Federacii, opubl. 29.11.2018.

- 11 **Issabekov, D. D., Kletsel, M. Ya., Zhantlesova, A. B., Mayshev, P. N., Mashrapov, B. E.** «New filters for symmetrical current components» [Text] // *Electrical Power and Energy Systems*– 2018. – №101. – pp. 85-91.
- 12 **Bass, E. I.** *Katushki rele zashhity` avtomatiki* [Automation protection relay coils] [Text] – Moscow : E`nergiya, 1974. –80 p.
- 13 **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*.

Д. Д. Исабеков, Н. Б. Исаев

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

АЛЬТЕРНАТИВТІК РЕСУРС ҮНЕМДЕЙТІН МАКСИМАЛДЫ ТОК ҚОРҒАНЫСЫ

Мақалада авторлар қазіргі заманғы энергетиканың негізгі мәселесін ашуды ұсынады, ол дәстүрлі ток трансформаторларын (ТТ) пайдаланбайтын электр жабдықтарын қорғауды жүзеге асыру болып табылады. Мұндай қорғаныстарды құру үшін электр қондырғысының ток өткізетін шиналарының жанына орнату арқылы индуктивті катушкаларды қолдануға болады, өйткені ол келесі қасиеттерге ие: температураның әсерін азайтудың қажеті жоқ, ол бір уақытта жұмыс істейді. өлшеу түрлендіргіші және өлшеуді қорғау элементі ретінде. Пайдаланылған материалдардың ресурс үнемдеу әсеріне ие, комплектік тарату құрылғыларының (КТҚ) ұяшықтарына қосылған электр қондырғыларының индуктивтілік катушкаларындағы максималды ток қорғанысын (МТҚ) іске асырудың инновациялық схемасы ұсынылған. Альтернативтік ресурстарды үнемдейтін максималды ток қорғанысының жұмыс істеу принципі қарастырылған. Бұл қорғаныстың ресурс үнемділігі жоғарыда аталған дәстүрлі ток трансформаторларына қарағанда құны бойынша да, салмақ өлшемдері бойынша да шамасы мен салмағы бойынша арзанырақ және аз болатын индуктивтілік катушкаларын пайдаланудан тұрады. Қарапайым және оңай қол жетімді элементтерден жиналатын оны іске асырудың жаңа схемасы олардың ішіндегі индукторларды орнату кезінде кернеуі 6-10 кВ болатын комплектік тарату құрылғыларының ұяшықтарына қосылған әртүрлі электр қондырғылары үшін ток қорғанысын құру мүмкіндігін тағы бір рет растайды.

Кілтті сөздер: МТҚ, индуктивтік катушка, ұяшық, ресурстыүнемдеу, электрқондырғысы.

D. D. Issabekov, N. B. Isaev
Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, c. Pavlodar

ALTERNATIVE RESOURCE-SAVING MAXIMUM CURRENT PROTECTION

In the article the authors present the disclosure of the main issue of modern power engineering, which is the realization of protections for electrical equipment that do not use traditional current transformers (CTs). It is shown that for construction of such protections it is possible to use an inductance coil, having installed it near current-carrying busbars of an electrical installation, as it possesses the following properties: there is no necessity to reduce the influence of temperature, it works simultaneously as a measuring transducer and a measuring organ of protection. The innovative scheme of realization of maximum current protection (MCP) of electrical installations on inductive coils connected to cells of complete switchgear (CSG) is presented, possessing at the same time the effect of resource saving of used materials. The principle of operation of alternative resource-saving maximum current protection is considered. The resource-saving feature of this protection is the use of inductance coils, which are, both in terms of cost and weight and dimensional parameters, an order of magnitude cheaper and smaller in size and weight than the aforementioned traditional current transformers. The presented new scheme of its realization, assembled from simple and easily accessible elements, once again confirms the possibility of building current protections for various electrical installations connected to the cells of complete switchgears, voltage 6-10 kV, when installing inductance coils inside them.

Keywords: MCP, Inductance Coil, Cell, Resourceconservation, electrical installation.

МРНТИ 44.31.35

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

А. К. Кинжибекова, *Л. В. Дмитриенко, А. П. Плевако^{1,2,3}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар*e-mail: luba_pavlova97@mail.ru

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ БИОУГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматривается вопрос использования сырья для производства биоугольных брикетов на основе специализированных отходов, образуемых в угольной промышленности, которые не подлежат самостоятельному использованию и включению в процесс рециклинга. Предлагается комбинирование отходов угольной промышленности с некоторыми видами растительных отходов, среди которых в исследовании используются: лузга подсолнечника, лузга гречихи, опавшая листва и жмых подсолнечника. Производство биоугольных брикетов должно базироваться на определенных топливных характеристиках, таких как низшая теплота сгорания и выход летучих веществ на горючую массу, которые формируются за счет комбинирования растительных отходов и отходов угольной промышленности в определенных соотношениях: 20:80 %, 30:70 %, 40:60 %, 50:50 %, 60:40 %, 70:30 %, 80:20 %. Выявление преимущественных характеристик биотопливных брикетов осуществлено на основе определения элементного состава. Это позволило выявить оптимальное соотношение компонентов в составе исследуемых образцов, а также определить наиболее предпочтительные и балластные компоненты. Выявлены образцы, наиболее подходящие с позиции теплотворной способности. Выполнен сравнительный анализ данных по теплоте сгорания биоугольных брикетов, полученных расчетным методом и данные по теплотворной способности тех же брикетов, определенных экспериментальным путем в Институте химии и угля (г.Астана). Определено, что выбор биоугольных брикетов должен основываться на самом процессе сжигания и конкретных его потребностях, а также целях использования и определенной области их применения.

Ключевые слова: биоугольные брикеты, промышленные отходы, сельскохозяйственные отходы, элементный состав, теплотворная способность.

Введение

Потребление минерального топлива на сегодняшний день начинает контролироваться во многих странах. В соответствии с Киотским соглашением, а также нормативно-правовыми актами стран Евросоюза определена повышенная вредоносность продуктов сгорания невозобновляемого топлива [1, с. 41–43]. Многие предприятия работают на каменном угле, который при сгорании приводит к выбросу в атмосферу большого количества углекислого газа, окислов азота, серы, фосфора. Как перспективная альтернатива данному топливу начинает приобретать популярность использование биотоплива и применение альтернативных источников энергии [2, с. 138–141].

Брикетирование отходов сельскохозяйственного производства и угольной промышленности впервые было внедрено в начала 19 века Вишняковым В. П. Подобные брикеты он назвал карболеином. Биоуголь представляет собой биологический заменитель топлива, являющийся альтернативой таковому в каменном угле. Традиционные источники энергии до сих пор не уступают по конкуренции альтернативным энергоисточникам, несмотря на то, что основы идеи были заложены ещё в 1910 году химиком Бергиусом Ф. [3, с. 220–222]

В качестве сырья для производства биотоплива может использоваться как сама лесная или сельскохозяйственная продукция, так и их отходы. Однако в своем исходном виде данное сырье не подходит для сжигания в качестве топлива [4, с. 430–438; 5, с. 243–246.]. Они должны быть высушены и пройти термическую обработку для повышения способности теплотворения и придания хрупкости [6, с. 172–185]. Брикеты обладают повышенными энергетическими свойствами и пользуются повышенной популярностью из-за возможности возобновления.

Существует классификация компонентов, делящая топливо на горючие и негорючие составляющие. Горючими веществами в составе топлива могут являться водород, углерод, соединения углеводов [7, с. 74–77]. Азот и кислород относится к внутреннему балласту топлива. Внешними балластными веществами выступают влага и зола. Углерод является основным источником тепла, который определяет повышенную тепловую эффективность [8, с. 36–39]. Водород считается элементом, повышающим топливную калорийность. Сера присутствует в твердом виде топлива в форме органических, сульфатных соединений и соединений с железом. Кислород выступает в качестве балластного вещества, которое приводит к снижению тепловой ценности. Большое количество азота вызывает уменьшение доли горючей части в топливе. Зола является минеральным остатком, образующимся при полном или частичном окислении [9, с. 22–25]. Влага уменьшает ценность топлива с точки зрения его тепловой способности. При испарении она приводит к снижению

температурных показателей, что влияет на объем теплоты, передаваемый к поверхностям нагрева [10, с. 475–487].

Таким образом, компонентный состав образуемых брикетов напрямую влияет на их способность генерировать тепло. По этой причине актуальным вопросом на сегодняшний день является определение элементного состава биоугольных брикетов с последующим анализом их теплотворной способности.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассмотрены биоугольные брикеты из промышленных и растительных отходов. Сырьем для данных брикетов были выбраны угольная пыль Шубаркульского и Майкубенского угольных разрезов, а также растительные отходы (листья, лузга гречихи, лузга подсолнечника и жмых подсолнечника). Состав и основные характеристики использованных в исследовании промышленных и растительных отходов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и топливные характеристики угольной пыли и растительных отходов [11; 12; 13]

Материалы исследования	Состав, %							Низшая теплота сгорания Q_n^p , МДж/кг	Выход летучих веществ на горючую массу V_g , %
	W^p	A^p	$S_{л}^p$	C^p	H^p	N^p	O^p		
Угольная пыль									
Угольная пыль Шубаркульского месторождения	14,5	6,54	0,43	60,63	5,14	0,9	11,86	24,16	44,5
Угольная пыль Майкубенского месторождения	18	11,91	0,48	51,72	3,75	0,69	13,45	19,47	42,1
Растительные отходы									

Листья	4,3	2,1	0,0 3	49, 57	8,6 6	0,2 1	35, 13	21,71	78
Лузга гречихи	6,4	2,3	0,2 5	44, 12	5,3	1,5	40, 13	15,86	73
Лузга подсолнечника	3	4,5	0,1	45, 3	6,8	2	38, 3	18,06	64
Жмых подсолнечника	3,5	2,3	0,0 8	48, 52	6,2	2,8	36, 6	18,70	55

Были исследованы следующие варианты смеси брикетов:

- угольная пыль Шубаркольского месторождения : лузга подсолнечника;
- угольная пыль Шубаркольского месторождения : лузга гречихи;
- угольная пыль Шубаркольского месторождения : листья;
- угольная пыль Шубаркольского месторождения : жмых подсолнечника;
- угольная пыль Майкубенского месторождения : лузга подсолнечника;
- угольная пыль Майкубенского месторождения : лузга гречихи;
- угольная пыль Майкубенского месторождения : листья;
- угольная пыль Майкубенского месторождения : жмых подсолнечника.

Для каждого типа биоугольного брикета были рассмотрены различные комбинации угольной пыли с растительными отходами в процентном соотношении 20:80 %, 30:70 %, 40:60 %, 50:50 %, 60:40 %, 70:30 %, 80:20 %.

Элементарный состав биоугольных брикетов определен методом математического расчета с учетом процентного содержания компонентов исходного сырья. Этот подход позволил получить состав брикетов с учетом доли каждого элемента исходного сырья в конечном продукте.

Для расчета низшей теплоты сгорания рабочей массы твердого и жидкого топлива используется формула, МДж/кг [14]:

$$Q_n^p = 338C^p + 1025H^p - 108,5(O^p - S_l^p) - 25W^p,$$

где C^p , H^p , O^p , S_l^p , W^p - содержание элементов в рабочей массе топлива, %.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования позволили определить элементарный состав и выявить на основе этого топливные характеристики полученных биоугольных брикетов. Результаты анализа по определению элементного состава биоугольных брикетов представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты анализа брикетов из растительных отходов и угольной пыли Шубаркульского месторождения

Соотношение УП:Р О	РО	Состав, %							$Q_{н}^p$, МДж/ кг	$V_{г}$, %
		W ^p	A ^p	S ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p		
80:20	Л П	12,4 6	5,6 5	0,3 5	58,4 2	5,8 4	0,7 6	16,5 1	23,67	51,2 0
	ЛГ	12,8 8	5,6 9	0,3 9	57,3 3	5,1 7	1,0 2	17,5 1	22,50	50,2 0
	Л	12,2 0	6,1 3	0,3 6	57,5 6	5,4 7	1,1 2	17,1 5	22,94	48,4 0
	Ж П	12,3 0	5,6 9	0,3 6	58,2 1	5,3 5	1,2 8	16,8 1	23,07	46,6 0
70:30	Л П	11,4 4	5,2 1	0,3 1	57,3 1	6,2 0	0,6 9	18,8 4	23,43	54,5 5
	ЛГ	12,0 7	5,2 7	0,3 8	55,6 8	5,1 9	1,0 8	20,3 4	21,67	53,0 5
	Л	11,0 5	5,9 3	0,3 3	56,0 3	5,6 4	1,2 3	19,7 9	22,33	50,3 5
	Ж П	11,2 0	5,2 7	0,3 3	57,0 0	5,4 6	1,4 7	19,2 8	22,52	47,6 5
60:40	Л П	10,4 2	4,7 6	0,2 7	56,2 1	6,5 5	0,6 2	21,1 7	23,18	57,9 0
	ЛГ	11,2 6	4,8 4	0,3 6	54,0 3	5,2 0	1,1 4	23,1 7	20,84	55,9 0
	Л	9,90	5,7 2	0,3 0	54,5 0	5,8 0	1,3 4	22,4 4	21,72	52,3 0
	Ж П	10,1 0	4,8 4	0,2 9	55,7 9	5,5 6	1,6 6	21,7 6	21,98	48,7 0
50:50	Л П	9,40	4,3 2	0,2 3	55,1 0	6,9 0	0,5 6	23,5 0	22,94	61,2 5
	ЛГ	10,4 5	4,4 2	0,3 4	52,3 8	5,2 2	1,2 0	26,0 0	20,01	58,7 5

	Л	8,75	5,5 2	0,2 7	52,9 7	5,9 7	1,4 5	25,0 8	21,11	54,2 5
	Ж П	9,00	4,4 2	0,2 6	54,5 8	5,6 7	1,8 5	24,2 3	21,43	49,7 5
40:60	Л П	8,38	3,8 8	0,1 9	53,9 9	7,2 5	0,4 9	25,8 2	22,69	64,6 0
	ЛГ	9,64	4,0 0	0,3 2	50,7 2	5,2 4	1,2 6	28,8 2	19,18	55,9 0
	Л	7,60	5,3 2	0,2 3	51,4 3	6,1 4	1,5 6	27,7 2	20,50	56,2 0
	Ж П	7,90	4,0 0	0,2 2	53,3 6	5,7 8	2,0 4	26,7 0	20,89	50,8 0
30:70	Л П	7,36	3,4 3	0,1 5	52,8 9	7,6 0	0,4 2	28,1 5	22,45	67,9 5
	ЛГ	8,83	3,5 7	0,3 0	49,0 7	5,2 5	1,3 2	31,6 5	18,35	64,4 5
	Л	6,45	5,1 1	0,2 0	49,9 0	6,3 0	1,6 7	30,3 7	19,89	58,1 5
	Ж П	6,80	3,5 7	0,1 9	52,1 5	5,8 8	2,2 3	29,1 8	20,34	51,8 5
20:80	Л П	6,34	2,9 9	0,1 1	51,7 8	7,9 6	0,3 5	30,4 8	22,20	71,3 0
	ЛГ	8,02	3,1 5	0,2 9	47,4 2	5,2 7	1,3 8	34,4 8	17,52	67,3 0
	Л	5,30	4,9 1	0,1 7	48,3 7	6,4 7	1,7 8	33,0 1	19,28	60,1 0
	Ж П	5,70	3,1 5	0,1 5	50,9 4	5,9 9	2,4 2	31,6 5	19,80	52,9 0

* РО – растительные отходы, ЛП – лузга подсолнечника, ЛГ – лузга гречихи, Л – листья, ЖП – жмых подсолнечника, УП – угольная пыль

Полученные данные продемонстрировали, что наибольшее содержание углерода (от 58,21% до 58,42%) характерно для брикетов в соотношении 80:20 (угольная пыль и растительные отходы). Максимальное значение содержания углерода определено у брикетов, имеющих в составе лузгу и жмых подсолнечника. Минимальное содержание углерода (47,42%) наблюдается у брикетов, содержащих 20% лузги гречихи. Также для данного вида брикетов характерно большее количество балластных составляющих (кислород, азот).

Как известно, повышенное содержание влаги в топливе уменьшает его тепловую ценность. Максимальная концентрация влаги (12,88%) отмечено у тех же брикетов, содержащих 20% лузги гречихи.

Выход летучих веществ на горючую массу выше всего в образцах с меньшим содержанием угольной пыли. Максимальные показатели выхода летучих веществ характерны для биоугольных брикетов с использованием лузги подсолнечника (71,3%) и лузги гречихи (67,3%).

Высокие значения низшей теплоты сгорания выявлены во всех образцах с использованием жмыха и лузги подсолнечника вне зависимости от соотношения отходов (рисунок 1).

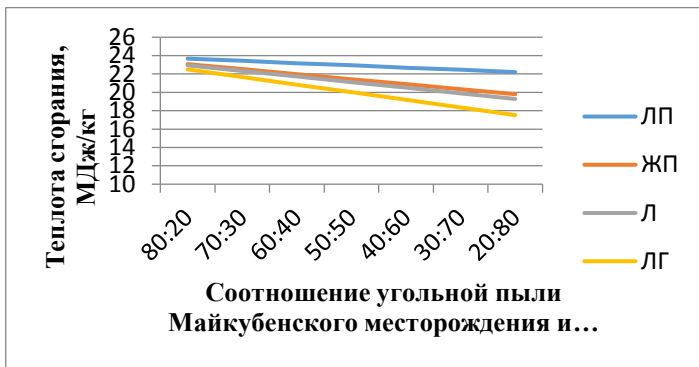


Рисунок 1 – Низшая теплота сгорания брикетов из растительных отходов и угольной пыли Шубаркульского месторождения

График на рисунке 1 позволяет нам выявить зависимость изменения низшей теплоты сгорания топливных брикетов от соотношения угольной пыли и растительных отходов. Наблюдается общая тенденция снижения значения низшей теплоты сгорания при уменьшении содержания угольной пыли. Максимальные значения низшей теплоты сгорания выявлены в брикете из угольной пыли и лузги подсолнечника в соотношении 80:20 (23,67 МДж/кг) и жмыха подсолнечника в таком же соотношении (23,07 МДж/кг). Минимальные значения низшей теплоты сгорания имеют брикеты из угольной пыли и листьев в соотношении 20:80 (19,28 МДж/кг) и лузгой гречихи в этом же соотношении (17,52 МДж/кг)

Результаты анализа брикетов из растительных отходов и угольной пыли Майкубенского месторождения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты анализа брикетов из растительных отходов и угольной пыли Майкубенского месторождения

Соотношение	РО	Состав, %							Q_n^p , МДж/кг	V_r , %
		W ^p	A ^p	S ^p	C ^p	H ^p	N ^p	O ^p		

УП:Р О										
80:20	Л П	15,2 6	9,95	0,3 9	51,2 9	4,7 3	0,5 9	17,7 9	19,92	49,2 8
	ЛГ	15,6 8	9,99	0,4 3	50,2 0	4,0 6	0,8 5	18,7 9	18,75	48,2 8
	Л	15,0 0	10,4 3	0,4 0	50,4 4	4,3 6	0,9 5	18,4 2	19,19	46,4 8
	Ж П	15,1 0	9,99	0,4 0	51,0 8	4,2 4	1,1 1	18,0 8	19,32	44,6 8
70:30	Л П	13,8 9	8,97	0,3 5	51,0 8	5,2 2	0,5 5	19,9 5	20,14	52,8 7
	ЛГ	14,5 2	9,03	0,4 1	49,4 4	4,2 2	0,9 3	21,4 5	18,38	51,3 7
	Л	13,5 0	9,69	0,3 7	49,7 9	4,6 7	1,0 8	20,9 1	19,05	48,6 7
	Ж П	13,6 5	9,03	0,3 6	50,7 6	4,4 9	1,3 2	20,4 0	19,24	45,9 7
60:40	Л П	12,5 2	7,99	0,3 0	50,8 6	5,7 1	0,5 0	22,1 2	20,37	56,4 6
	ЛГ	13,3 6	8,07	0,3 9	48,6 8	4,3 7	1,0 1	24,1 2	18,02	54,4 6
	Л	12,0 0	8,95	0,3 3	49,1 5	4,9 7	1,2 1	23,3 9	18,91	50,8 6
	Ж П	12,2 0	8,07	0,3 2	50,4 4	4,7 3	1,5 3	22,7 1	19,16	47,2 6
50:50	Л П	11,1 5	7,01	0,2 6	50,6 5	6,2 1	0,4 5	24,2 9	20,59	60,0 5
	ЛГ	12,2 0	7,11	0,3 7	47,9 2	4,5 3	1,1 0	26,7 9	17,66	57,5 5
	Л	10,5 0	8,21	0,2 9	48,5 1	5,2 8	1,3 5	25,8 8	18,76	53,0 5
	Ж П	10,7 5	7,11	0,2 8	50,1 2	4,9 8	1,7 5	25,0 3	19,09	48,5 5
40:60	Л П	9,78	6,02	0,2 1	50,4 3	6,7 0	0,4 0	26,4 6	20,82	63,6 4
	ЛГ	11,0 4	6,14	0,3 4	47,1 6	4,6 8	1,1 8	29,4 6	17,30	60,6 4
	Л	9,00	7,46	0,2 5	47,8 7	5,5 8	1,4 8	28,3 6	18,62	55,2 4
	Ж П	9,30	6,14	0,2 4	49,8 0	5,2 2	1,9 6	27,3 4	19,01	49,8 4

30:70	Л П	8,41	5,04	0,1 7	50,2 2	7,1 9	0,3 5	28,6 3	21,04	67,2 3
	ЛГ	9,88	5,18	0,3 2	46,4 0	4,8 4	1,2 6	32,1 3	16,94	63,7 3
	Л	7,50	6,72	0,2 1	47,2 3	5,8 9	1,6 1	30,8 5	18,48	57,4 3
	Ж П	7,85	5,18	0,2 0	49,4 8	5,4 7	2,1 7	29,6 6	18,93	51,1 3
20:80	Л П	7,04	4,06	0,1 2	50,0 0	7,6 8	0,3 1	30,7 9	21,27	70,8 2
	ЛГ	8,72	4,22	0,3 0	45,6 4	4,9 9	1,3 4	34,7 9	16,58	66,8 2
	Л	6,00	5,98	0,1 8	46,5 8	6,1 9	1,7 4	33,3 3	18,34	59,6 2
	Ж П	6,40	4,22	0,1 6	49,1 6	5,7 1	2,3 8	31,9 7	18,86	52,4 2

* ЛП – лузга подсолнечника, ЛГ – лузга гречихи, Л – листья, ЖП – жмых подсолнечника, УП – угольная пыль.

В соответствии с таблицей 3 определено, что наибольшее содержание углерода (от 51,08% до 51,29%) характерно для брикетов в соотношении 80:20 (угольная пыль и растительные отходы). Содержание углерода преобладает у брикетов из лузги подсолнечника и жмыха подсолнечника. Минимальное содержание углерода (45,64%) выявлено у брикетов с содержанием 20% лузги гречихи. Доминирование таких балластных веществ как азот и кислород также характерно для брикетов из лузги гречихи.

Увеличенное содержание влаги наблюдается у топливных брикетов с использованием лузги гречихи (15,68%) и лузги подсолнечника (15,26%). Выход летучих веществ на горючую массу имеет наибольшее значение в образцах с меньшим содержанием угольной пыли. Максимальные показатели выхода летучих веществ характерны для биоугольных брикетов с использованием лузги подсолнечника в соотношении 20:80 (70,82%) и 30:70 (67,23%).

Аналогично образцам брикетов с содержанием угольной пыли Шубаркульского месторождения, высокие значения низшей теплоты сгорания выявлены в образцах с использованием жмыха и лузги подсолнечника вне зависимости от соотношения отходов (рисунок 2).

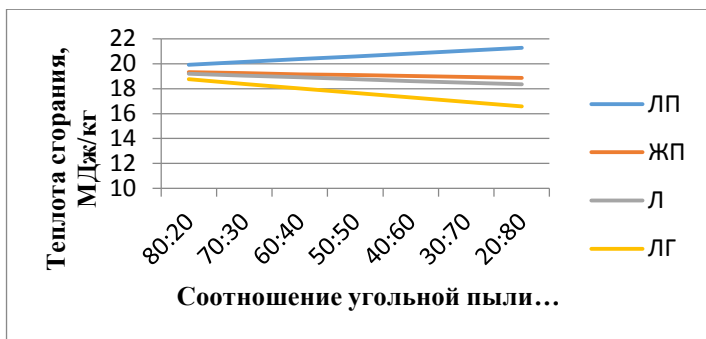


Рисунок 2 – Низшая теплота сгорания брикетов из растительных отходов и угольной пыли Майкубенского месторождения

Анализируя график, мы можем наблюдать увеличение значения низшей теплоты сгорания при уменьшении содержания угольной пыли у образцов с содержанием лузги подсолнечника (от 19,92 до 21,27 МДж/кг). При этом снижение значения низшей теплоты сгорания происходит у брикетов со жмыхом подсолнечника (от 19,32 до 18,86 МДж/кг), с листьями (от 19,19 до 18,34 МДж/кг) и лузгой гречихи (от 18,75 до 16,58 МДж/кг) при уменьшении содержания угольной пыли.

Полученные расчетным методом данные по теплоте сгорания биоугольных брикетов были сопоставлены с данными по теплотворной способности тех же брикетов, определенных экспериментальным путем в Институте химии и угля (г.Астана). Сравнительный анализ представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Сравнительный анализ теплоты сгорания топливных брикетов

Тип брикета	Теплота сгорания, МДж/кг (расчетный метод)	Теплота сгорания, МДж/кг (экспериментальный метод)	Процент расхождения, %
Л:УШ (50:50)	21,11	20,99	0,53
ЛП:УШ (50:50)	22,94	23,77	3,48

ЛП:У Ш (80:20)	22,20	23,24	4,45
Л:УМ (50:50)	18,76	18,71	0,29

*УШ – уголь (Шубаркуль), УМ – уголь (Майкубень)

Процент расхождения не превышает 5 %, в соответствии с чем можно сделать вывод, что расчетный метод определения теплоты сгорания на основе определения элементного состава биоугольного брикета, является корректным.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №AP14869152).

Выводы

Элементный состав топливных брикетов напрямую влияет на процесс сгорания и энергетические свойства. Наиболее подходящими с позиции содержания элементов, характеризующих высокую теплотворную способность, считаются брикеты в соотношении 80:20 Шубаркольских и 20:80 Майкубенских образцов на основе лузги подсолнечника и жмыха подсолнечника. Наиболее экологически чистыми согласно показателям компонентного состава, являются образцы с содержанием растительных отходов в объеме одной пятой части (за счет меньшего содержания серы и азота в исходном сырье).

Сравнительный анализ данных по теплотворной способности топливных брикетов, полученных расчетным путем, и данных по теплоте сгорания тех же брикетов, полученных экспериментальным методом в Институте химии и угля (г.Астана), показал, что расчетный метод определения теплотворной способности на основе выявления элементного состава биоугольных брикетов, является оптимальным, так как процент расхождения составляет не более 5 %.

В целом, выбор биоугольных брикетов должен основываться на самом процессе сжигания и конкретных его потребностях, а также целях использования и определенной области применения. Следовательно, для оптимизации работы отопительных систем необходимо учитывать элементный состав топливных брикетов. Также необходимо соблюдать все нормы и рекомендации их использования, чтобы повысить продуктивность топлива, и снизить негативное влияния на окружающую среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Крысанова, К. О., Крылова, А. Ю., Пудова, Я. Д., Борисов, А. В.** Исследование минеральных компонентов биоуглей из опила, полученных низкотемпературными методами // Уголь. – 2021. – № 12 (1149). – С. 41–43.

2 **Шаяхметова, А. Х., Сафин, Р. Р., Тимербаева, А. Л., Зиятдинов, Р. Р.** Торрефицирование твердых видов биотоплива из древесины и лузги подсолнечника // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 18 (8). – С. 138–141.

3 **Разумов, Е. Ю., Назипова, Ф. В.** Биоуголь: современное представление // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 18 (2). – С. 220–222.

4 **Иванов, И. П., Чесноков, Н. В.** Использование связующих на основе древесных опилок и биомодифицированного бурого угля для получения топливных брикетов // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2015. – № 8 (3). – С. 430–438.

5 **Шаяхметова, А. Х., Тимербаева, А. Л., Борисова, Р. В.** Сравнительные характеристики пеллет из лузги подсолнечника и древесных пеллет // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 18 (2). – С. 243–246.

6 **Любов, В. К., Цыпнятов, И. И.** Повышение эффективности энергетического использования биотоплива // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2023. – № (1). – С. 172–185.

7 **Михайленко, А. В., Журенков, В. А., Амиров, Р. А.** Физико-механические свойства угля Экибастузского месторождения // Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 74–77.

8 **Котельникова, А. В.** Исследование свойств биотоплива из лузги подсолнечника // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 9(87). – С. 36–39.

9 **Лукьяненко, А. И., Дегтярев, В. В.** Энергетический потенциал гречихи и его использование // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 8(85). – С. 22–25.

10 **Bhagia, R. G., Rao, K. N.** Utilization of Buckwheat Husk for Bioenergy: A Review – Renewable and Sustainable Energy Reviews. –2016. – V. 65. – P. 475–487.

11 Сертификат качества угля марки ДР АО «Шубарколь комир». [Электронный ресурс] – URL: <https://img.bizorg.su/goods/8b1/f56/8b1f56efbc1f.jpg>

12 **Богомолов, В. В., Алехнович А. Н., Артемьева Н. В., Абишев, М. В., Кириченко, Г. Н., Родионов, В. А., Ларионов, П. В.** Шлакующие свойства майкубенского угля и опыт его сжигания на ТЭС // 4 науч. –практ.

конф. Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка котлов, Челябинск, 4–7 июня 2007 г. – Челябинск, 2007. – с. 17 - 29.

13 **Шахметова А. Х., Тимербаева А. Л., Борисова Р. В.** Сравнительные характеристики пеллет из лузги подсолнечника и древесных пеллет. – 2015. – URL:<http://volgakammir.ru/f/sravnitelnye-harakteristik-pellet-iz-luzgi-podsolnechnika-i-drevesnyh-pellet.pdf>

14 **Имомов, Ш. Ж., Нуритов, И. Р., Усмонов, К. Э.** / Сборник задач по основам термодинамики и теплопередачи / Учебное пособие– Т. : ТИИИМСХ. 2020.- С. 85.

REFERENCES

1 **Krysanova, K. O., Krylova, A. Yu., Pudova, Ya. D., Borisov, A. V.** Issledovanie mineral'nykh komponentov biougley iz opila, poluchennykh nizkotemperaturnymi metodami [Study of the mineral components of biochars from sawdust obtained by low-temperature methods] // Ugol'. – 2021. – № 12 (1149). – P. 41–43.

2 **Shayahmetova, A. Kh., Safin, R. R., Timerbaeva, A. L., Ziatdinov, R. R.** Torreficirovanie tverdykh vidov biotopliva iz drevesiny i luzgi podsolnechnika [Torrefaction of solid biofuels from wood and sunflower husks] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2015. – № 18 (8). – P. 138–141.

3 **Razumov, E. Yu., Nazipova, F. V.** Biougol': sovremennoe predstavlenie [Biocoal: modern presentation] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2015. – № 18 (2). – P. 220–222.

4 **Ivanov, I. P., Chesnokov, N. V.** Ispol'zovanie svyazuyushchikh na osnove drevesnykh opilok i biomodificirovannogo burogo uglya dlya polucheniya toplivnykh briketov [The use of binders based on sawdust and biomodified brown coal to produce fuel briquettes] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya. – 2015. – № 8 (3). – P. 430–438.

5 **Shayahmetova, A. Kh., Timerbaeva, A. L., Borisova, R. V.** Sravnitel'nye kharaktristiki pellet iz luzgi podsolnechnika i drevesnykh pellet [Comparative characteristics of pellets from sunflower husks and wood pellets] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2015. – № 18 (2). – P. 243–246.

6 **Lyubov, V. K., Сурпьятов, I. I.** Povyshenie ehffektivnosti ehnergeticheskogo ispol'zovaniya biotopliva [Increasing the efficiency of energy use of biofuels] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2023. – № (1). – P. 172–185.

7 **Mihajlenko, A. V., Zhurenkov, V. A., Amirov, R. A.** Fiziko-mekhanicheskie svoystva uglya Ekhbastuzskogo mestorozhdeniya [Physico-

mechanical properties of coal from the Ekibastuz deposit] // Gornyj zhurnal. – 2012. – № 4. – P. 74–77.

8 **Kotel'nikova, A. V.** Issledovanie svojstv biotopliva iz luzgi podsolnechnika [Study of the properties of biofuel from sunflower husks] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2019. – № 9(87). – P. 36–39.

9 **Luk'yanenko, A. I., Degtyarev, V. V.** Ehnergeticheskij potencial grechikhi i ego ispol'zovanie [Energy potential of buckwheat and its use] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2019. – № 8(85). – P. 22–25.

10 **Bhagia, R. G., Rao, K. N.** Utilization of Buckwheat Husk for Bioenergy: A Review – Renewable and Sustainable Energy Reviews. –2016. – V. 65. – P. 475–487.

11 Сертификат качества угля марки DR АО «Шубаркол комир». [The certificate of quality of coal of the brand DR JSC "Shubarkol Komir"]. [Electronic resource] – URL: <https://img.bizorg.su/goods/8b1/f56/8b1f56efbc1f.jpg>.

12 **Bogomolov, V. V., Alehnovich, A. N., Artemeva, N. V., Abishev, M. V., Kirichenko, G. N., Rodionov, V. A., Larionov, P. V.** Shlakuyushie svojstva majkubenskogo uglya i opyt ego szhiganiya na TES [Slagging properties of Maikuben coal and the experience of its combustion at thermal power plants] // 4 nauch. –prakt. konf. Mineralnaya chast topliva, shlakovanie, zagryaznenie i ochistka kotlov, Chelyabinsk, 4–7 iyunya 2007 g. – Chelyabinsk, 2007. – pp. 17– 29.

13 **Shayahmetova A. H., Timerbaeva A. L., Borisova R. V.** Sravnitelnye haraktristiki pellet iz luzgi podsolnechnika i drevesnyh pellet. [Comparative characteristics of sunflower husk pellets and wood pellets]. – 2015. – URL: <http://volgakammir.ru/f/sravnitelnye-haraktristiki-pellet-iz-luzgi-podsolnechnika-i-drevesnyh-pellet.pdf>.

14 **Imomov, Sh. Zh., Nuritov, I. R., Usmonov, K. E.** / Sbornik zadach po osnovam termodinamiki i teploperedachi [Collection of problems on the basics of thermodynamics and heat transfer] / Uchebnoe posobie– T. :ТIIМSH. 2020.– P. 85.

А. К. Кинжибекова, *Л. В. Дмитриенко, А. П. Плевако

¹Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

ӨСІМДІК ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МЕН ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫНАН ЖАСАЛҒАН БИОКӨМІР БРИКЕТТЕРІНІҢ ЭЛЕМЕНТТІК ҚҰРАМЫ

Өз бетінше пайдалануға және қайта өңдеу процесіне енгізуге жатпайтын көмір өнеркәсібінде түзілетін мамандандырылған қалдықтар негізінде биокөмір брикеттерін өндіру үшін шикізатты пайдалану мәселесі қарастырылуда. Көмір өнеркәсібінің қалдықтарын өсімдік қалдықтарының кейбір түрлерімен біріктіру ұсынылады, олардың арасында зерттеуде: күнбағыс қабығы, қарақұмық қабығы, құлаған жапырақтар және күнбағыс торты қолданылады. Биокөмір брикеттерінің өндірісі белгілі бір жанармай сипаттамаларына негізделуі керек, мысалы, жанудың төмен жылуы және өсімдік қалдықтары мен көмір өнеркәсібінің қалдықтарын белгілі бір арақатынаста біріктіру арқылы пайда болатын ұшып заттардың жанғыш массаға шығуы: 20:80 %, 30:70 %, 40:60 %, 50:50 %, 60:40 %, 70:30%. Биоотын брикеттерінің басым сипаттамаларын анықтау элементтік құрамды анықтау негізінде жүзеге асырылды. Бұл зерттелетін үлгілердің құрамындағы компоненттердің оңтайлы арақатынасын анықтауға, сондай-ақ ең қолайлы және балласт компоненттерін анықтауға мүмкіндік берді. Калориялық құндылық тұрғысынан ең қолайлы үлгілер анықталды. Биокөмір брикеттерін таңдау жану процесінің өзіне және оның нақты қажеттіліктеріне, сондай-ақ пайдалану мақсаттарына және оларды қолданудың белгілі бір саласына негізделуі керек екендігі анықталды.

Кілтті сөздер: биокөмір брикеттері, Өндірістік қалдықтар, ауышаруашылық қалдықтары, элементтік құрамы, калориялық мәні.

A. K. Kinzhibekova, * L. V. Dmitrienko, A. P. Plevako
Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

ELEMENTAL COMPOSITION OF BIOCARAL BRIQUETTES FROM AGRICULTURAL PLANT WASTE AND INDUSTRIAL WASTE

The issue of using raw materials for the production of biochar briquettes based on specialized waste generated in the coal industry, which is not subject to independent use and inclusion in the recycling process, is being considered. It is proposed to combine coal industry waste with some types of plant waste, among which the study uses: sunflower husks, buckwheat husks, fallen leaves and sunflower cake. The production of biochar briquettes should be based on certain fuel characteristics, such as lower calorific value and the release of volatile substances into the combustible mass, which are formed by combining plant waste and coal industry waste in certain ratios: 20:80%, 30:70%, 40: 60%, 50:50%, 60:40%, 70:30%, 80:20%. The preferential characteristics of biofuel briquettes were identified based on the determination of the elemental composition. This made it possible to identify the optimal ratio of components in

the composition of the samples under study, as well as to determine the most preferred and ballast components. The samples that are most suitable in terms of calorific value have been identified. It has been determined that the choice of biochar briquettes should be based on the combustion process itself and its specific needs, as well as the purpose of use and the specific area of their application.

Keywords: biochar briquettes, industrial waste, agricultural waste, elemental composition, calorific value.

МРНТИ 29.31.26

DOI xxxxxxxxxx

***А. А. Кисабекова¹, А. С. Красников², Г. К. Алпысова³**

¹Павлодарский педагогический университет имени Э. Марғұлан,
Республика Казахстан, г. Павлодар

¹Евразийский национальный университет имен Л. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана

²Институт физики, Тартуский университет, Эстония, г. Тарту

³Карагандинский университет имени Е. А. Букетова, Республика
Казахстан, г. Караганда

*e-mail: akisabekova@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ НИОБАТА ЛЮТЕЦИЯ АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ V_i^{3+} и Eu^{3+} - ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЛЮМИНОФОРА ДЛЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ

Данная статья является логическим продолжением нашего исследования [1] передачи энергии от ионов висмута к ионам европия в ниобате $LuNbO_4:V_i^{3+}, Eu^{3+}$, однокомпонентного люминофора для белых светодиодов. Спектроскопические исследования были продолжены в области температур (4.2-500 К) при импульсном возбуждении ксеноновым источником света. В работе представлены кинетика затухания, а также разрешенные по времени спектры люминесценции, связанной с ионами V_i^{3+} и Eu^{3+} . Определены истинные концентрации ионов висмута и европия во всех исследованных образцах, приведены зависимости значений времени затухания люминесценции от концентрации примесных ионов и рассчитана эффективность передачи энергии (ЭПЭ/ЕТЕ). К рассчитанным ранее квантовым выходам (КВ/QU) и координатам цветности (КЦ/CIE), были определены значения индекса цветопередачи (ИЦ/CRI) и коррелированная цветовая температура (КЦТ/ССТ). Согласно полученным результатам как в работе [1] и в данной работе, в исследуемом материале наблюдается эффективная безызлучательная передача энергии от центров, связанных с ионами висмута, к ионам европия. На основе экспериментальных данных и расчетов проведена детальная характеристика передачи энергии от ионов висмута к ионам европия, что может быть существенно для оптимизации исследуемого материала.

Ключевые слова: белые светодиоды, люминесценция, передача энергии, ниобат лутеция, V_i^{3+} , Eu^{3+} , люминофоры.

Введение

Люминофоры – люминесцентные материалы, которые преобразуют определенные типы энергии в электромагнитное излучение, - обычно состоят из прозрачной моно- или микрокристаллической *матрицы* и *активатора*, т.е. небольшого количества намеренно добавленных примесных атомов, распределенных в матрице. В некоторых случаях необходим также *сенситизатор*, который может поглощать возбуждающее излучение и впоследствии передавать его активатору. *Матрица* – это диэлектрик или полупроводник, а энергетические уровни люминесцентных центров обычно расположены внутри запрещенной зоны основного вещества. Матрицами обычно являются оксиды, нитриды, галогениды и т.д., а активаторами – ионы редкоземельных элементов, благородных или переходных металлов, ns^2 ртутеподобные ионы и т.д. *Люминесцентные центры* – объекты, в энергетической структуре которых релаксация возбужденного уровня происходит с испусканием фотона.

Ион висмута является отличным активатором и сенситизатором люминесцентных материалов, широко исследуемых в течении последних десятилетий. Люминофоры, активированные Bi^{3+} , привлекли внимание из-за их полос излучения, перекрывающих широкую область спектра при возбуждении ультрафиолетовой радиацией. Типичный ион-активатор Bi^{3+} может излучать в разных матрицах свет различного цвета от УФ до синего, зеленого, желтого, оранжевого и даже красного. Материалы, активированные ионами Bi^{3+} , имеют характерное возбуждение в ближней УФ-области, т.е. полосы возбуждения и излучения почти не перекрываются. В последние годы резко возрос интерес к материалам, активированных ионами Bi^{3+} , в связи с очень привлекательными особенностями их люминесцентных характеристик, а также возможными применениями в качестве сцинтилляционных, дозиметрических и люминофорных материалов [2; 3]. Например, соединения, активированные ионами трехвалентного висмута и различными ионами трехвалентных редкоземельных элементов (RE^{3+}), оказались потенциально применимыми в качестве спектральных преобразователей для солнечных элементов и твердотельных источников света таких как белые светодиоды (БСД/WLED). Этот потенциал основан на сильном поглощении в ультрафиолетовой области спектра, интенсивных широких видимых полосах излучения, связанных с Bi^{3+} , и эффективным переносе энергии $Bi^{3+} \rightarrow RE^{3+}$, в результате чего возникает люминесценция, охватывающая широкий спектральный диапазон от синего цвета до красного [4; 5; 6].

Сравнение люминесцентных характеристик связанных с ионами Bi^{3+} в этих ниобатах свидетельствует о том, что дополнительное солегирование, например ионами Dy^{3+} и Eu^{3+} , является наиболее предпочтительным для изготовления WLED [7–10]. Наличие интенсивных полос излучения ионов

Dy³⁺ и Eu³⁺ в оранжево-красной области спектра и сильное перекрытие полосы излучения Bi^{3+} с полосами поглощения этих ионов RE^{3+} обеспечивают эффективный перенос энергии $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Dy}^{3+}$ или $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$. Ниобаты, солегированные ионами Bi^{3+} и Dy^{3+} или Eu^{3+} , изучались в работах [4; 5; 6].

Наиболее интенсивные полосы излучения, связанные с Eu^{3+} , расположенные примерно при 2.09, 2.02 и 1.76 эВ, связаны с переходами $5\text{D}_0 \rightarrow 7\text{F}_{1,2,4}$ Eu^{3+} соответственно. Полосы поглощения (возбуждения) Eu^{3+} расположены в диапазоне энергий 2.1–3.9 эВ. Сопоставление этих данных с люминесцентными характеристиками $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$, указывает на то, что широкие полосы излучения Bi^{3+} в области 1.7–3.2 эВ хорошо перекрываются с наиболее интенсивными полосами 3.44 эВ (360 нм, $7\text{F}_0 \rightarrow 5\text{D}_4$), 3.16 эВ (393 нм, $7\text{F}_0 \rightarrow 5\text{L}_6$), 2.67 эВ (465 нм, $7\text{F}_0 \rightarrow 5\text{D}_2$) и 2.18 эВ (569 нм, $7\text{F}_0 \rightarrow 5\text{D}_0$) полосы возбуждения Eu^{3+} . Это позволяет ожидать эффективного переноса энергии от центров люминесценции, связанных с ионами висмута, к ионам европия в исследуемых нами люминофорах $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$, Eu^{3+} .

В первой части нашего исследования [1] данная эффективная передача энергии была подтверждена, были приведены расчеты квантового выхода, координат цветности, сделан вывод о возможности применения данного однокомпонентного фосфора в качестве материала для белых светодиодов.

Материалы и методы

Исследуемые образцы приготовлены методом твердофазного синтеза [1]. Номинальная концентрация ионов Bi^{3+} составляла 2% для всех образцов, а номинальная концентрация ионов Eu^{3+} варьировалась от 0.2 до 8% относительно ионов лутеция. Однако учитывая достаточно сильную испаряемость/летучесть висмута при синтезе, а также хоть и сильно меньшую европия, в данной работе нами были установлены истинные концентрации ионов Bi^{3+} и Eu^{3+} во всем ряде исследуемых образцов. Для этого применялся метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП/ICP-AES). Результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Истинная концентрация висмута (C_{Bi}) и европия (C_{Eu}) в исследованных микрокристаллических порошках $\text{LuNbO}_4:2\% \text{ Bi}$, Eu с различной номинальной концентрацией европия.

Образец	Номинальная концентрация		Истинная концентрация	
	Bi^{3+} , %	Eu^{3+} , %	C_{Bi} , %	C_{Eu} , %
$\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$	2	0	0.39	0
	2	0.2	0.50	0.16
	2	0.4	0.37	0.38
	2	1	0.46	0.78
	2	2	0.42	1.81
	2	4	0.37	2.98
	2	8	0.26	6.64

Результаты и обсуждение.

Передача энергии от ионов донора (Д) к ионам акцептора (А) может быть как излучательной, так и безызлучательной. В случае излучательной передачи (реабсорбции) свечение донора поглощается в полосе поглощения акцептора. В этом случае передача энергии $\text{D} \rightarrow \text{A}$ никак не проявляется в кинетике затухания люминесценции донора и акцептора. Однако, она должна приводить к деформации спектра излучения донора, т.е., к возникновению в этом спектре "провалов" в области полос поглощения акцептора. В нашем случае, в роли акцептора выступают ионы Eu^{3+} , а в роли донора, ионы Bi^{3+} . Как следует из [1, рисунок 1а], никаких провалов (в частности, в области интенсивной ~ 2.15 эВ полосы поглощения Eu^{3+} , см. [1, рисунок 1в] в спектре обусловленного ионами Bi^{3+} свечения не наблюдается. Это говорит о малой вероятности реабсорбции.

Безызлучательная передача энергии происходит из нерелаксированного возбужденного состояния Д в возбужденное состояние А, следовательно, она должна проявляться в кинетике затухания излучения как донора, так и акцептора.

Для выяснения механизма передачи энергии в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$, нами была изучена кинетика затухания люминесценции $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ и ее зависимости от разных факторов.

В кинетике затухания люминесценции ионов Eu^{3+} , измеренной при возбуждении в полосе поглощения ионов Bi^{3+} , наблюдается как медленный компонент со временем затухания ~ 650 мкс (рисунок 1а), так и более быстрый компонент со временем затухания ~ 5 мкс (рисунки 1а и 2, кривая 1). При возбуждении в полосе поглощения ионов Eu^{3+} (2.1 эВ) в кинетике затухания излучения Eu^{3+} наблюдается тот же медленный компонент со временем затухания ~ 650 мкс (рисунок 1б, рисунок 3б).

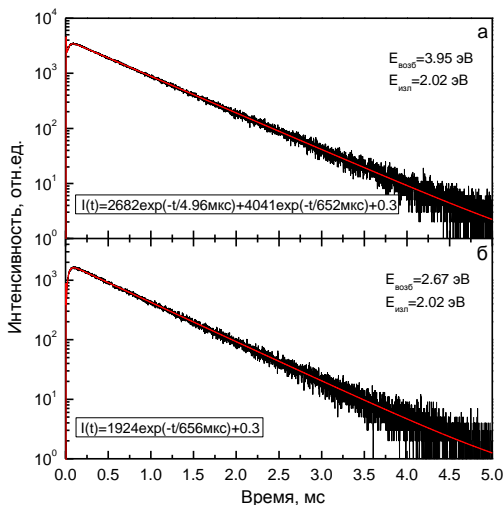


Рисунок 1 – Кривые затухания люминесценции Eu^{3+} при возбуждении в полосе поглощения Vi^{3+} (а) и Eu^{3+} (б). $T=79\text{ K}$

Кривые затухания обусловленной ионами Vi^{3+} люминесценции ($\sim 2.41\text{ эВ}$) в $\text{LuNbO}_4:\text{Vi}$ и $\text{LuNbO}_4:\text{Vi},\text{Eu}$, полученные при возбуждении в области полосы поглощения ионов Vi^{3+} ($\sim 4\text{ эВ}$), практически совпадают, время затухания люминесценции при этой температуре тоже составляет $\sim 5\text{ мкс}$ (рисунок 2, кривая 1, рисунок 3а). Температурные зависимости времени затухания этого излучения в $\text{LuNbO}_4:\text{Vi}$ и $\text{LuNbO}_4:\text{Vi},\text{Eu}$ также близки (рисунок 4).

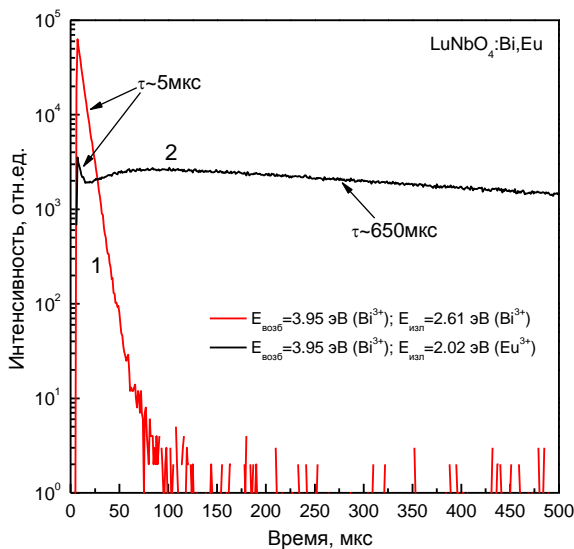


Рисунок 2 – Кривые затухания люминесценции, полученные при возбуждении в полосе поглощения Bi^{3+} для полос свечения обусловленных ионами Bi^{3+} (кривая 1) и Eu^{3+} (кривая 2). $T=79$ К.

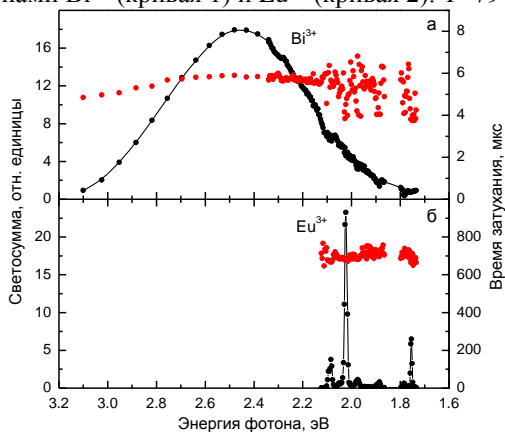


Рисунок 3 – Спектры излучения с временным разрешением (черные кружки), измеренные для различных компонентов затухания (красные кружки) с (а) $\tau \approx 5$ мкс, (б) $\tau \approx 660$ мкс и при возбуждении в максимуме полосы поглощения Bi^{3+} ($E_{\text{возб}} = 3.96$ эВ). $T=79$ К

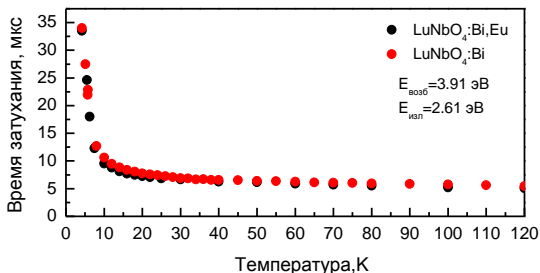


Рисунок 4 – Температурные зависимости времени затухания обусловленной ионами Bi^{3+} люминесценции, полученные при возбуждении в полосе поглощения Bi^{3+} для $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ (красные точки) и $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ (черные точки).

Таким образом, данные по кинетике затухания люминесценции подтверждают сделанный выше вывод об эффективной передаче энергии $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ в ниобате $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$. Однако, к сожалению, из этих данных не удалось получить информацию о механизме передачи энергии.

В связи с этим, мы исследовали зависимости времени затухания обусловленного ионами Bi^{3+} свечения $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ от концентрации ионов Eu^{3+} . Очевидно, что с ростом концентрации донора или акцептора расстояние между ними уменьшается, что приводит к увеличению эффективности передачи энергии. Этот эффект проявляется в перераспределении интенсивностей полос излучения, связанных ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} , с увеличением концентрации ионов Eu^{3+} (см. [1, рисунок 2]). Концентрационная зависимость времени затухания обусловленного ионами Bi^{3+} излучения $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$, измеренная при 79 К при возбуждении в полосе поглощения ионов Bi^{3+} , приведена на рисунке 5. Заметно сокращение времени затухания излучения связанного с ионами висмута при увеличении концентрации европия, которое позволяет сделать вывод о безызлучательном механизме передачи энергии $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$.

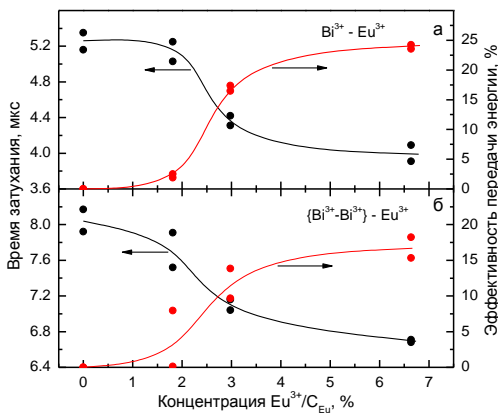


Рисунок 5 – Зависимости времени затухания (черные точки) обусловленной ионами Bi^{3+} люминесценции (а, б) от концентрации Eu^{3+} . Красными точками представлены значения ЭПЭ/ЕТЕ посчитанные по формуле (2).

Используя данные полученные в работе [1] и в данной работе, эффективность передачи энергии (ЭПЭ, %) от связанных с Bi^{3+} центров к ионам Eu^{3+} можно оценить по соотношению интегральных интенсивностей излучения (I) (см. рисунок 6) или времен затухания (τ) (см. рисунок 5) связанной Bi^{3+} люминесценции в люминофоре $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$, легированном европием ($I_{\text{Bi-Eu}}$, $\tau_{\text{Bi-Eu}}$), и в люминофоре без европия (I_{Bi} , τ_{Bi}):

$$\text{ЭПЭ/ЕТЕ} = 1 \cdot \frac{I_{\text{Bi-Eu}}}{I_{\text{Bi}}} \quad (1)$$

$$\text{ЭПЭ/ЕТЕ} = 1 \cdot \frac{\tau_{\text{Bi-Eu}}}{\tau_{\text{Bi}}} \quad (2)$$

Видно, что ЭПЭ постепенно увеличивается с концентрацией Eu^{3+} и достигает максимального значения для образца LuNbO_4 с номинальными концентрациями 2% Bi^{3+} , 8% Eu .

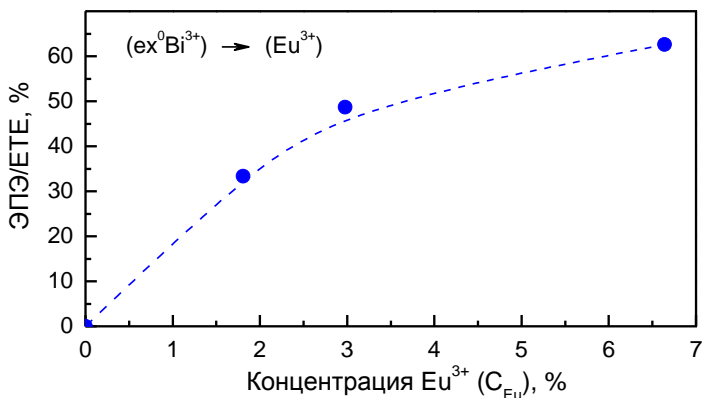


Рисунок 6 – Значения ЭПЭ/ЕТЕ по соотношению интегральных интенсивностей излучения от концентрации Eu^{3+} . Значения получены из формулы (1).

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан AP19177651.

Выводы

Согласно полученным экспериментальным данным и выполненным расчетам для серии ниобатов $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$ и $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+},\text{Eu}^{3+}$ как в работе [1] так и в данной работе, была установлена эффективная безызлучательная передача энергии от люминесцентных центров, связанных с ионами Bi^{3+} , к ионам Eu^{3+} . Полученные важные характеристики образцов однокомпонентного фосфора $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$, Eu^{3+} приведены в Таблице 2. К сожалению, учитывая полученные данные, исследуемый фосфор не может выступать в качестве материала для БСД/WLED из-за низкого квантового выхода, но прекрасно подходит как материал для светодиодов с ярким свечением в красной области спектра.

Таблица 2. Значения индекса цветопередачи (ИЦ/СRI), квантового выхода (КВ/QY), эффективности переноса энергии $ex^0Bi^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$ (ЭТЭ/ЕТЕ), коррелированной цветовой температуры (КЦТ/ССТ) и координат цветности (КЦ/СIE) для исследованных образцов $LuNbO_4:Bi^{3+}, Eu^{3+}$ с номинальными концентрациями.

Bi^{3+} , %	Eu^{3+} , %	QY, %	ЕТЕ, %	CRI, %	CIE cordinales, x,y	ССТ, К
2	0.2	18.8 ± 0.7	-	90	0.254, 0.296	9511
2	0.4	17.9 ± 0.6	-	76	0.316, 0.317	5206
2	1	25.1 ± 0.7	-	58	0.375, 0.318	2874
2	2	26.2 ± 0.6	32	53	0.501, 0.339	1529
2	4	29.1 ± 2.0	47	45	0.539, 0.340	1237
2	8	41.9 ± 2.1	60	35	0.608, 0.341	1091

Список использованных источников

- Кисабекова А. А.** Спектроскопия ниобата $LuNbO_4:Bi, Eu$ – потенциального материала для светодиодов с преобразующим люминофором [Текст] / Кисабекова А.А., Красников А.С., Алпысова Г.К. // Вестник Торайгыров университета. Серия энергетическая. – 2023. – №2. – с.166-177.
- Awater R.H.P.** The Bi^{3+} 6s and 6p electron binding energies in relation to the chemical environment of inorganic compounds [Text] / Awater R.H.P., Dorenbos P. // Journal of luminescence. – 2017. – Vol.184. – P.221-231.
- Swart H. C.** Ultraviolet and visible luminescence from bismuth doped materials [Text] / Swart H.C., Kroon R.E. // Optical Materials:X. – 2019. – Vol.2. – P. 22-38.
- Park T.-K.** High concentration of Bi^{3+} incorporated into $RNbO_4:Eu^{3+}$ (R = La, Y, Gd) as red phosphors for white LED applications [Text] / Park T.-K., Ahn H.-C., Mho S.-I. // Journal of the Korean Physical Society. – 2008. – Vol.52. – P.431-434.
- Xiao X.** Hybrid precursors synthesis and optical properties of $LnNbO_4:Bi^{3+}$ blue phosphors and Bi^{3+} sensitizing of Dy^{3+} 's luminescence in $YNbO_4$ matrix [Text] / Xiao X., Yan B. // Journal of Alloys and Compounds. – 2006. – Vol.421. – P.252-257.
- Zhang D.** Potential red-emitting phosphor $GdNbO_4:Eu^{3+}, Bi^{3+}$ for near-UV white light emitting diodes [Text] / Zhang D., Tang A., Yang L., Zhu Z. // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2012. – Vol.19. – P.1036-1039.
- Lü Y.** Synthesis and luminescent properties of $GdNbO_4:RE^{3+}$ (RE = Tm, Dy) nanocrystalline phosphors via sol-gel process [Text] / Lü Y., Tang X., Yan L., Li K., Liu X., Shang M., Li Ch., Lin J. // The Journal of Physical Chemistry C. – 2013. – Vol.117. – P.21972-21980.

- 8 **Liu X.** Host-sensitized and tunable luminescence of $\text{GdNbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ ($\text{Ln}^{3+} = \text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$) nanocrystalline phosphors with abundant color [Text] / Liu X., Chen C., Li S., Dai Y., Guo H., Tang X., Xie Y., Yan L. // *Inorganic Chemistry*. – 2016. – Vol.55. – P.10383-10396.
- 9 **Xiao X.** Synthesis and luminescent properties of novel $\text{RENbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ (RE = Y, Gd, Lu; Ln = Eu, Tb) micro-crystalline phosphors [Text] / Xiao X., Yan B. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2005. – Vol.351. – P.3634-3639.
- 10 **Mahesh S.K.** Intense red line emitting phosphor $\text{LuNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ for white light emitting diode applications [Text] / Mahesh S.K., Prabhakar P., Francis T., Reshmi V., Koshy P. // *Materials Letters*. – 2014. – Vol.120. – P.115-117.

References

- 1 **Kissabekova, A.A.** Spektroskopiya niobata $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ – potencialnogo materiala dlya svetodiodov s preobrazuyutshim lyuminoforom [Spectroscopy of niobate $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ – potential material for LEDs with a conversion luminophore] [Text] / Kissabekova A.A., Krasnikov A.S., Alpysova G.K. // *Bulletin of the Toraighyrov University. Series of energy* – 2023. – №2. – c.166-177.
- 2 **Awater R.H.P.** The Bi^{3+} 6s and 6p electron binding energies in relation to the chemical environment of inorganic compounds [Text] / Awater R.H.P., Dorenbos P. // *Journal of luminescence*. – 2017. – Vol.184. – P.221-231.
- 3 **Swart H. C.** Ultraviolet and visible luminescence from bismuth doped materials [Text] / Swart H.C., Kroon R.E. // *Optical Materials:X*. – 2019. – Vol.2. – P. 22-38.
- 4 **Park T.-K.** High concentration of Bi^{3+} incorporated into $\text{RNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ (R = La, Y, Gd) as red phosphors for white LED applications [Text] / Park T.-K., Ahn H.-C., Mho S.-I. // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2008. – Vol.52. – P.431-434.
- 5 **Xiao X.** Hybrid precursors synthesis and optical properties of $\text{LnNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$ blue phosphors and Bi^{3+} sensitizing of Dy^{3+} 's luminescence in YNbO_4 matrix [Text] / Xiao X., Yan B. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2006. – Vol.421. – P.252-257.
- 6 **Zhang D.** Potential red-emitting phosphor $\text{GdNbO}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ for near-UV white light emitting diodes [Text] / Zhang D., Tang A., Yang L., Zhu Z. // *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. – 2012. – Vol.19. – P.1036-1039.
- 7 **Lü Y.** Synthesis and luminescent properties of $\text{GdNbO}_4:\text{RE}^{3+}$ (RE = Tm, Dy) nanocrystalline phosphors via sol-gel process [Text] / Lü Y., Tang X., Yan L., Li K., Liu X., Shang M., Li Ch., Lin J. // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2013. – Vol.117. – P.21972-21980.
- 8 **Liu X.** Host-sensitized and tunable luminescence of $\text{GdNbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ ($\text{Ln}^{3+} = \text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$) nanocrystalline phosphors with abundant color [Text] / Liu X.,

- Chen C., Li S., Dai Y., Guo H., Tang X., Xie Y., Yan L. // Inorganic Chemistry. – 2016. – Vol.55. – P.10383-10396.
- 9 **Xiao X.** Synthesis and luminescent properties of novel $\text{RENbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ (RE = Y, Gd, Lu; Ln = Eu, Tb) micro-crystalline phosphors [Text] / Xiao X., Yan B. // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2005. – Vol.351. – P.3634-3639.
- 10 **Mahesh S.K.** Intense red line emitting phosphor $\text{LuNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ for white light emitting diode applications [Text] / Mahesh S.K., Prabhakar P., Francis T., Reshmi V., Koshy P. // Materials Letters. – 2014. – Vol.120. – P.115-117.

* **А. А. Кисабекова¹, А. С. Красников², Г. К. Алпысова³**

¹Ә.Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

¹Л.Гумилев Еуразиялық ұлттық университеті, Қазақстан
Республикасы, Астана қ.

²Физика институты, Тарту университеті, Эстония, Тарту

³Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қазақстан
Республикасы, Қарағанды қ.

Vi³⁺ ЖӘНЕ Eu³⁺ ИОНДАРЫМЕН БЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛЮТЕЦИЙ НИОБАТЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ – АҚ ЖАРЫҚДИОДТЫ ШАМДАРҒА АРНАЛҒАН ПОТЕНЦИАЛДЫ ЛЮМИНОФОР

Бұл мақала лютеций ниобаты $\text{LuNbO}_4:\text{Vi}$, Eu , ақ жарық диодтары үшін бір компонентті фосфордың микрокристалды ұнтағындағы Vi^{3+} иондарынан Eu^{3+} иондарына энергияның тасымалдануын [1] зерттеуіміздің логикалық жалғасы болып табылады. Спектроскопиялық зерттеулер температура диапазонында (4,2–500 К) ксенондық жарық көзі арқылы импульстік қозумен жалғасты. Жұмыста ыдырау кинетикасы, сонымен қатар Vi^{3+} және Eu^{3+} иондарымен байланысты уақыт бойынша шешілген люминесценция спектрлері берілген. Барлық зерттелген үлгілердегі висмут және еуропий иондарының шынайы концентрациясы анықталды, люминесценцияның ыдырау уақытының қоспа иондарының концентрациясына тәуелділігі ұсынылды және энергия беру тиімділігі (ETE/ETE) есептелді. Бұрын есептелген кванттық шығымдылыққа (Q/QY) және CIE түстілік координаттарына CRI түсті көрсету индексінің мәндері және корреляциялық түс температурасы (CCT/CCT) анықталды. [1] жұмыста және осы жұмыста біз $\text{LuNbO}_4:\text{Vi}, \text{Eu}$ ниобаттарында Vi^{3+} иондарымен байланысқан орталықтардан Eu^{3+} иондарына тиімді сәулелік емес энергияның тасымалдануы бар екенін көрсеттік. Мақалада келтірілген эксперименттік деректер мен есептеулер мынаны береді: матрицадан және висмут иондарынан еуроциум иондарына энергияның берілуін егжей-

тегжейлі сипаттау, бұл зерттеудің материалды оңтайландыру үшін маңызды болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: Жарықдиодты шамдар, люминесценция, энергияны тасымалдау, лютеций ниобаты, Bi^{3+} , Eu^{3+} , люминофорлар⁺.

*A. A.Kissabekova¹, A. S.Krasnikov², G. K.Alpysova³

¹ Pavlodar Pedagogical University named after A.Margulan, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

¹ L.Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

²Institute of Physics, University of Tartu, Estonia, Tartu

³Karaganda Buketov University, Republic of Kazakhstan, Karaganda

THE CHARACTERISTICS OF LUTETIUM NIOBATE ACTIVATED WITH Bi^{3+} AND Eu^{3+} IONS - POTENTIAL PHOSPHOR FOR WLED

This paper is a logical continuation of our study [1] of energy transfer from bismuth ions to europium ions in $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$, Eu^{3+} niobate, a one-component phosphor for white LEDs. Spectroscopic studies were continued in the temperature region (4.2-500 K) under pulsed excitation with a xenon light source. The attenuation kinetics as well as time-resolved spectra of luminescence associated with Bi^{3+} and Eu^{3+} ions are presented in this work. The true concentrations of bismuth and europium ions in all the studied samples were determined, the dependence of the luminescence attenuation time values on the concentration of impurity ions is given, and the energy transfer efficiency (ETE) was calculated. To the previously calculated quantum yields (QY) and chromaticity coordinates (CIE), the values of color rendering index (CRI) and correlated color temperature (CCT) were determined. According to the results obtained both in [1] and in this work, an effective non-radiative energy transfer from the centers associated with bismuth ions to europium ions is observed in the investigated material. On the basis of experimental data and calculations, a detailed characterization of energy transfer from bismuth ions to europium ions has been carried out, which may be essential for optimization of the investigated material.

Keywords: WLED, luminescence, energy transfer, lutetium niobate, Bi^{3+} , Eu^{3+} , phosphors.

МРНТИ 50.01.86

DOI xxxxx

*** И. О. Косяков¹, Г. В. Луценко²**¹Международный транспортно-гуманитарный университет, Республика Казахстан, г. Алматы²Академия КНБ, Республика Казахстан, г. Алматы*e-mail: heimmdal@mail.ru

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В РАДИОСЕТЯХ НА ОСНОВЕ МАНИПУЛЯЦИЙ С СИГНАЛОМ

В статье рассматривается разработка автоматизированной системы защиты данных в радиосетях на основе манипуляций с сигналом. Суть методов заключается в применении псевдослучайной перестройки типа модуляции, которая позволит предотвратить технический анализ сигнала, и тем самым уменьшить вероятность его дешифрования. Необходимость дополнительной защиты данных в радиосетях возникает вследствие большого распространения комплексов для технического анализа сигналов, которые могут применяться для перехвата и расшифровки как личных данных, так служебной информации, курсирующей в эфире. Для создания схемы защиты данных в радиосетях в статье приводятся математические функции, требованиям которых она должна отвечать. На основе данных требований в программе-симуляторе была разработана принципиальная схема, сочетающая в себе возможности переключения между несколькими видами модуляции. В схеме также предусмотрено автоматизированное снижение индексов модуляций в случае отсутствия приемлемых условий передачи на основе алгоритма ARQ. В качестве модуляций были выбраны QPSK, 8-QAM и 16-QAM, по причине наложения их сигнальных созвездий друг на друга. Трудность технического анализа подобных сигналов заключается в необходимости их последовательного анализа без возможности групповой оценки сигнала. Для оценки разработанной схемы в статье приводятся результаты измерений точек сигнального созвездия для каждого типа применяемой модуляции. В завершении иллюстрируется спектр полученного сигнала. Статья будет полезна специалистам в области защиты информации и автоматизации. Реализация полученной схемы в тракте передающего устройства позволит обеспечить более высокий уровень конфиденциальности данных. Применение алгоритма ARQ позволит системе подстраиваться под текущие условия передачи.

Ключевые слова: автоматизированная система, информационная безопасность, радиосети, радиотехника, цифровая модуляция, псевдослучайная перестройка радиочастоты.

Введение

В настоящее время на фоне возросшего интереса к защите информации в сетях связи [1], основанного на участившихся случаях взлома различного рода информационных сетей [2], актуальной становится дополнительная или улучшенная автоматизированная система защиты информации в сетях радиосвязи. В качестве дополнительной меры возможно использовать защиту на физическом уровне, предотвращающую технический анализ и демодуляцию сигнала [3]. В сравнении с традиционными технологиями защиты информации, подобным криптографической, физический уровень может повысить безопасность передачи информации с использованием параметров сигнала, что может стать новым направлением повышения безопасности передачи информации в радиосетях. В источнике [4] рассматривался метод физической перестройки сигнального созвездия 16 QAM с изменением символьных значений для каждой точки, тем не менее подобный метод в настоящее время обнаруживается и демодулируется программно-аппаратными комплексами технического анализа, в частности, выпускаемыми компанией Rohde&Schwarz [5]. Другие источники, исследованные авторами, в основном рассматривают псевдослучайную перестройку частоты, получившую в настоящее время широкое распространение [6]. Технический анализ и демодуляция сигналов с ППРЧ в настоящее время также возможна при использовании специализированных комплексов радиомониторинга, что подтверждает ненадежность защиты информации в радиосетях на физическом уровне. Решение данной проблемы позволит обеспечить более высокий уровень конфиденциальности передачи информации и будет способствовать более высокой устойчивости к техническому анализу радиосигналов. Для решения авторами предлагается использовать симбиоз технологий автоматизированной псевдослучайной перестройки частоты и индекса модуляции в передатчике.

Материалы и методы

Для достижения цели предполагается использовать цифровые системы квадратурной-амплитудной и фазовой модуляции с различными индексами и модификациями. Сигнальные созвездия подобных систем при поочерёдной передаче способны накладываться друг на друга и таким образом технически усложнять корректную демодуляцию сигнала. В качестве технически совместимых сигналов для создания подобного рода защищённых радиосистем могут быть использованы: 4-PSK, два

модифицированных сигнала 8-QAM, и два сигнала с 16-QAM имеющие различные битовые значения сигнальных созвездий (сигнальные созвездия изображены на рисунке 1). Выбор возможных вариантов модуляций, будет всегда зависеть от дальности, частоты, и условий радиопередачи. Исходя их данных параметров, система будет автоматически перестраиваться на более сложные, либо упрощённые варианты использования созвездий. Так, при использовании в дополнении более высоких индексов модуляции, таких как 64-QAM возможно добиться более высоких показателей защиты радиоканала.

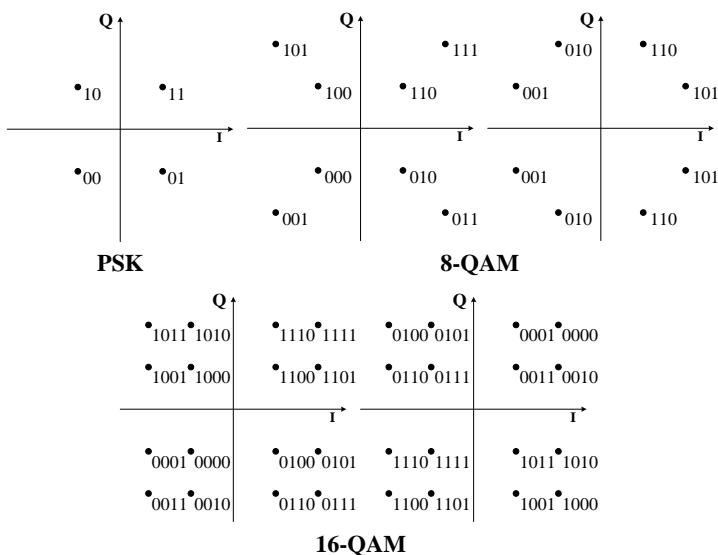


Рисунок 1 – Сигнальные созвездия

Для технического анализа подобных систем необходимо перебрать все возможные варианты модуляции с самого начала сигнала, поочерёдно разбирая каждый бит. Применение подобного подхода позволяет снизить вероятность комплексной оценки радиосигнала для его дальнейшего дешифрования, что соответственно требует больших вычислительных возможностей для перебора всех возможных комбинаций сигнальных созвездий необходимой для дешифрования минимальной длины сигнала.

В общем виде результирующий спектр будет суммой спектров всех типов модуляции. При передаче сигнала будет соблюдаться битовая скорость, присущая тому или иному виду модуляции. Эффективность использования спектра, с учётом плотности псевдослучайной

последовательности, которая будет осуществлять переключение типов модуляций, будет равна усреднённому значению всей эффективности. Для модуляций 4-PSK, 8-QAM(1), 8-QAM(2), 16-QAM(1), 16-QAM(2), средняя эффективность будет составлять 3,2 бит/Гц/с.

Для оценки разработанного метода защиты данных в радиосетях на основе манипуляций с сигналом создадим принципиальную схему на основе модулятора 16-QAM, описанного в источнике [8]. Компоненты I и Q в схеме будут представлять собой векторы напряжений синусоидальных сигналов $U_I(t)$ и $U_Q(t)$, показанные на рисунке 2, с фазами $\varphi_I(t)=\omega_I(t)+\alpha_I$ и $\varphi_Q(t)=\omega_Q(t)+\alpha_Q$ соответственно.

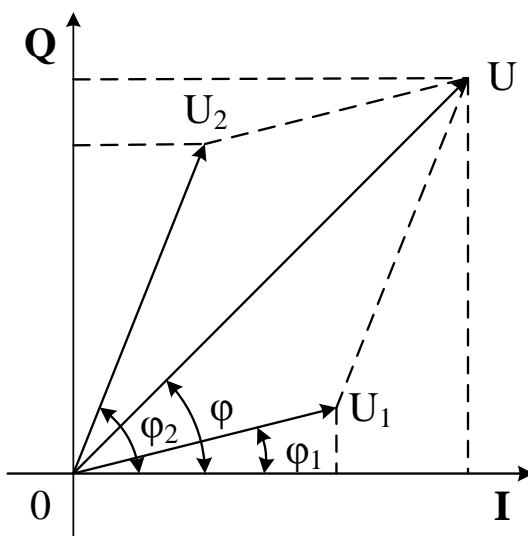


Рисунок 2 – Векторы и фазы напряжений складываемых сигналов

При сложении данных векторов результирующая амплитуда будет определяться выражением $U(t)=U_I(t)+U_Q(t)$, в свою очередь фаза будет равна $\varphi(t)=\varphi_I(t)+\varphi_Q(t)$.

В большинстве задач вычисления величины вектора напряжения $U(t)$ применяется формула [7]:

$$U = \sqrt{U_I^2 + U_Q^2 + 2U_I U_Q \cos(\varphi_I(t) - \varphi_Q(t))} \quad (1)$$

В случае процесса получения сигналов, которые были реализованы в схеме защиты данных с применением квадратурной модуляции, предложенной в данной статье, будет выполняться условие:

$$\cos(\varphi_I(t) - \varphi_Q(t)) = 0 \quad (2)$$

По причине ортогональности компонент сигнала, которые в любой момент времени будут отличаться по фазе на 90° сигнал будет когерентным. Принимая во внимание данное условие, упростим формулу 1:

$$U = \sqrt{U_I^2 + U_Q^2} \quad (3)$$

Фаза результирующего сигнала вычисляется по формуле:

$$\operatorname{tg}\varphi(t) = \frac{U_I \sin\varphi_I(t) + U_Q \sin\varphi_Q(t)}{U_I \cos\varphi_I(t) + U_Q \cos\varphi_Q(t)} \quad (4)$$

Получение численного значения фазы достигается путём применения арктангенса:

$$\varphi(t) = \operatorname{arctg} \frac{U_I \sin\varphi_I(t) + U_Q \sin\varphi_Q(t)}{U_I \cos\varphi_I(t) + U_Q \cos\varphi_Q(t)} \quad (5)$$

В общем виде, схема, полученная на рисунке 3 представляет собой двухкомпонентный модулятор I и Q, функции которого были описаны выше. Сложение компонент должно отвечать требованиям к получению всех видов сигнальных созвездий, предложенных к применению в соответствии с формулой (1). Для автоматической коррекции типа передачи со сложных комбинаций к более простым будет использоваться система с автоматическим запросом повторной передачи (ARQ). Алгоритм процесса автоматизации с использованием ARQ показан на рисунке 4.

Основными элементами схемы являются фазоинверторы на операционных усилителях UA741CD, через транзисторы Q1 и Q3 на них подаётся сигнал об изменении фазы на 180 градусов. В качестве источников сигналов в схеме выступают транзисторы V1, V2, V9, V10, при этом первые из них представляют собой синусоидальные сигналы, а вторые – косинусоидальные. Источники сигналов также имеют различия в амплитуде, которые на практике реализуются от одного генератора. На выходе схемы расположен аналоговый сумматор U7, а управление

осуществляется от цифровых сигналов, подающихся на цифровые триггеры.

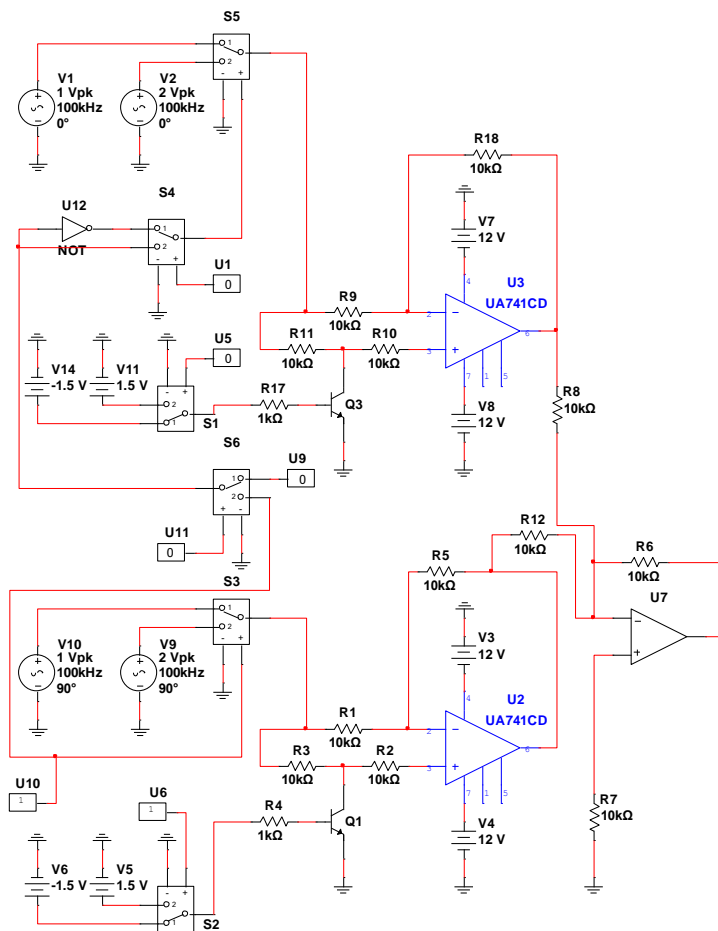


Рисунок 3 – Принципиальная схема защиты данных в радиосетях на основе псевдслучайной перестройки сигнальных созвездий

Основным отличием полученной на рисунке 3 схемы от модулятора 16-QAM в источнике [8] станет возможность переключения типа модуляции между 4-PSK, 8-QAM(1), 8-QAM(2), 16-QAM(1), 16-QAM(2). Переключение между типами модуляций будет осуществляться как программно, так и аппаратно. Модуляция 4-PSK и 16-QAM(2) станет

возможна за счёт сдвига бит и проведения математических манипуляций с сигналом соответственно. Основным триггером в схеме на рисунке 3 станет переключатель S6, который будет изменять тип модуляции с 16-QAM на 8-QAM(1), при задействовании переключателя S4 будет осуществляться изменение типа модуляции с 8-QAM(1) на 8-QAM(2).

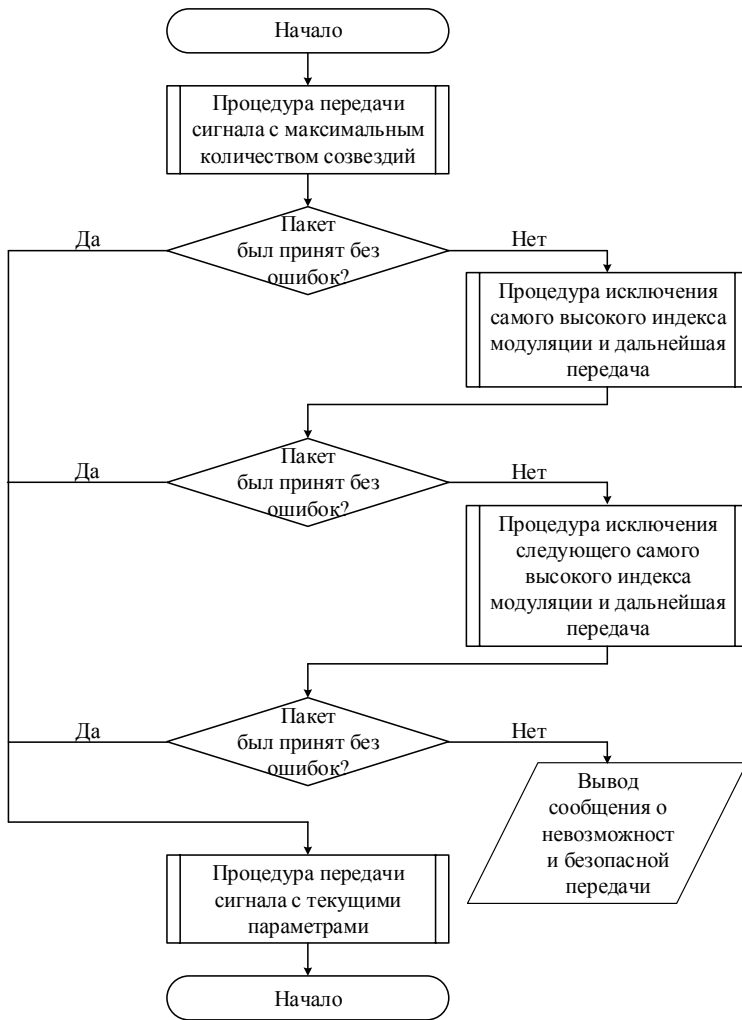


Рисунок 4 – Алгоритм процесса автоматизации защищённой передачи с использованием ARQ

Корректность работы схемы будет проверена путём компьютерного моделирования в программе-симуляторе Multisim 12 компании National Instruments. В ходе моделирования исходный поток бит будет формироваться генератором цифровых двоичных сигналов, и оцениваться на выходе анализатором спектра и анализом Фурье.

Результаты и их обсуждение

Самым первым параметром, который будет проверяться в реализованной схеме, станет корректность воспроизведения всех точек сигнального созвездия. Для реализации данного этапа в генератор цифровых двоичных сигналов для каждого созвездия устанавливались все возможные цифровые комбинации бит, сигнал на выходе оценивался посредством анализа Фурье. Фиксировались данные фазы и амплитуды сигнала для всех комбинаций бит. Параметры проверки для каждого типа модуляции приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры проверки корректности сигнальных созвездий

Тип модуляции	4-PSK	8-QAM(1)	8-QAM(2)	16-QAM(1)	16-QAM(2)
Количество возможных комбинаций в генераторе	2^2	2^3	2^3	2^4	2^4

Целью проверки сигнальных созвездий является необходимость сравнения полученных значений амплитуд и фаз у каждого типа модуляции на идентичности параметров, в которой собственно и заключается принцип защиты данных на основе манипуляций сигналов. Результаты проверки для каждого типа модуляции приведены в таблице 2, для модуляции 16-QAM(1) проверка не проводилась, так как её точки созвездия идентичны 16-QAM(2).

Как видно из таблицы 2 получаемые значения амплитуд и фаз, как и предполагалось идентичны в части касающейся для всех созвездий. Значения точек соответствуют сигнальным созвездиям, показанным на рисунке 1, пробелов и отклонений от нормы не наблюдается.

На рисунке 5 представлен спектр выходного сигнала, как можно отметить, в целом он более подобен спектру 16-QAM. Графическое отображение спектра соответствует его цифровой структуре, но тем не менее не даёт четкого понятия о применяемом типе модуляции. При использовании комплексов для технического анализа, машинный метод обработки подобного сигнала не приведёт к результатам, вне зависимости от применяемых методик определения типа модуляции [9, 10]. Вследствие

необходимости восстановления всей последовательности цифрового двоичного сигнала последовательным методом, для оценки сигналов с подобной структурой защиты потребуется создание специальных алгоритмов и наличие вычислительных возможностей, позволяющих создавать все возможные комбинации бит и одновременно осуществлять попытку дешифрования данных.

Таблица 2 – Результаты проверки корректности сигнальных созвездий

4-PSK					
Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °	Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °
11	1,4	+45	01	1,4	-45
10	1,4	+135	00	1,4	-135
8-QAM(1)					
Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °	Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °
111	2,8	+45	011	2,8	-45
110	1,4	+45	010	1,4	-45
101	2,8	+135	001	2,8	-135
100	1,4	+135	000	1,4	-135
8-QAM(2)					
Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °	Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °
111	2,2	+63	011	2,2	-63
110	2,2	+27	010	2,2	-27
101	2,2	+117	001	2,2	-117
100	2,2	+153	000	2,2	-153
16-QAM(1)					
Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °	Комбинация	Амплитуда, В	Начальная фаза, °
1111	1,4	-135	0111	1,4	-45
1110	2,2	-153	0101	2,2	-63
1101	2,2	-117	0110	2,2	-27
1100	2,8	-135	0100	2,8	-45
1011	1,4	+135	0011	1,4	+45
1010	2,2	+153	0001	2,2	+63
1001	2,2	+117	0010	2,2	+27

1000	2,8	+135	0000	2,8	+45
------	-----	------	------	-----	-----

Для проверки корректности работы автоматизированной псевдослучайной перестройки типа модуляции выходной сигнал оценивался графическим методом путём сравнения отрезков сигнала с шаблонными данными об амплитуде и фазе каждой точки применённых сигнальных созвездий.

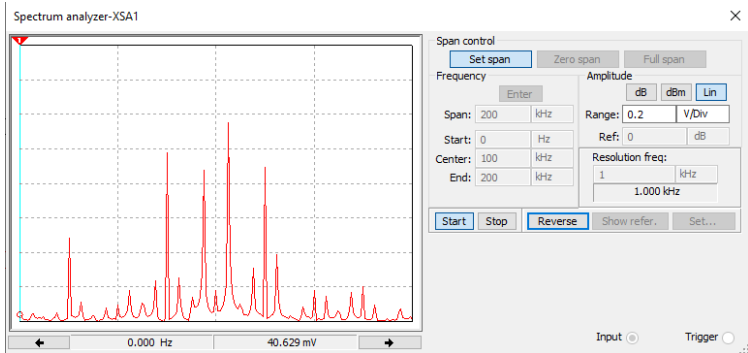


Рисунок 5 – Спектр выходного сигнала

На рисунке 6 представлен 21 период следования сигнала, при этом, визуально можно отметить наличие нескольких одинаковых амплитуд и фаз, которые в действительности являются разными точками разных сигнальных созвездий, и в зависимости от типа цифровой модуляции несут в себе 2,3 или 4 бита информации.

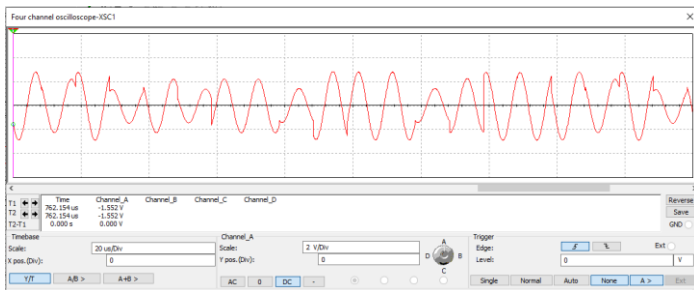


Рисунок 6 – Осциллограмма выходного сигнала

Выводы

Предложенный в статье метод автоматизированной защиты информации в радиосетях позволит осуществлять дополнительную защиту

сигнала от возможного перехвата, технического анализа и дальнейшего дешифрования. Использование метода возможно, как в ведомственных сетях, так и в общественных, в частности, в современных стандартах беспроводной связи. Внедрение подобных систем защиты ставит задачу по перехвату сигнала на более профессиональный и технически продвинутый уровень, который в настоящее время недоступен злоумышленникам. Созданная и исследованная в статье схема может быть реализована с использованием элементов аналогичных по принципу работы. Процесс автоматизации на основе ARQ позволит решить задачу стабильной передачи сигнала при любых внешних факторах, но со снижением уровня защиты. Результаты анализа схемы подтвердили факт корректности её работы и непрерывного переключения типа модуляции для каждого отрезка бит, формируемого на входе модулятора. Предложенный метод защиты данных также возможно модифицировать путем добавления дополнительных типов модуляций, что будеткратно повышать эффективность защиты информации, алгоритм ARQ при этом также должен корректироваться в сторону увеличения количества шагов снижения индекса модуляции.

Список использованных источников

1 Accenture: мировой рынок ИБ-услуг к 2025 году достигнет объема в \$94 млрд [Электронный ресурс]. – https://safe.cnews.ru/news/line/2022-02-04_accenture_mirovoj_rynok_ib-uslug.

2 Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года [Электронный ресурс]. – <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/>.

3 **Кадуков, Е. П.** Методика распознавания вида модуляции радиосигналов с непрерывным изменением фазы в системах радиомониторинга [Текст] // Вопросы оборонной техники. Серия 16 : Технические средства противодействия терроризму. ФГУП – 2021 - № 11-12. – С. 37-45.

4 **Zang, G. Li, Y.** One Self-securing Information Transmission Scheme Based on QAM Constellation Hopping [Текст] // IEEE 6th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC) – 2023, – pp. 603-607.

5 Основы методов анализа сигналов Rohde & Schwarz [Электронный ресурс]. – https://www.rohde-schwarz.com/cac/knowledge-center/technology-fundamentals/signal-analysis-methods/osnovy-tehnologii-analiza-signalov_255899.html

6 **Карпунин, Е. О, Макаренков, Н. С.** Применение сигналов OCDM-OFDM с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты для

предотвращения атак на физическом уровне [Текст] // Труды МАИ – 2019 № 106. – С. 1-8.

7 Сложение гармонических колебаний. Колебания. Физика. Курс лекций [Электронный ресурс]. – <https://siblec.ru/estestvennye-nauki/kolebaniya/2-slozhenie-garmonicheskikh-kolebaniy>

8 **Косяков, И. О., Алданияров, Б. Ж., Полушин, М. Ю.** Проектирование принципиальной схемы модулятора 16-QAM на фазоинвертирующих операционных усилителях в приложении multisim [Текст] // Вестник КазАТК – 2020 – № 1 (112). – С. 311-317.

9 **Кадуков, Е. П.** Модель радиосигналов с модуляцией с непрерывным изменением фазы в пространстве параметров фазовых диаграмм и комплекс информативных признаков для распознавания видов модуляции излучений спутниковых систем связи // Журнал радиоэлектроники [Электронный ресурс] – 2019 – № 7. – <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.7.12>

10 **Чиров, Д. С., Виноградов, А. Н., Кандаурова, Е. О.** Распознавание видов модуляции радиосигналов в когнитивных системах ионосферной связи [Текст] // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения МИРЭА – 2018 – № 4. – С. 919-922.

References

1 Accenture : mirovoj rynek IB-uslug k 2025 godu dostignet ob"ema v \$94 mlrd [Accenture: the global IT services market will reach \$94 billion by 2025]. – <https://safe.cnews.ru/news/line/2022-02-04-accenture-mirovoj-rynok-ib-uslug>.

2 Aktual'nye kiberugrozy: itogi 2022 goda [Current cyber threats: results of 2022]. – <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/>.

3 **Kadukov, E. P.** Metodika raspoznavaniya vida modulyacii radiosignalov s nepreryvnyim izmeneniem fazy v sistemah radiomonitoringa [Method of recognition of the type of modulation of radio signals with continuous phase change in radio monitoring systems] // Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. FGUP – 2021 – № 11-12. – 37-45 p.

4 **Zang, G. Li, Y.** One Self-securing Information Transmission Scheme Based on QAM Constellation Hopping // IEEE 6th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC) – 2023, – pp. 603-607.

5 Osnovy metodov analiza signalov Rohde & Schwarz [Fundamentals of Rohde & Schwarz signal analysis methods]. – <https://www.rohde->

schwarz.com/cac/knowledge-center/technology-fundamentals/signal-analysis-methods/osnovy-tehnologii-analiza-signalov_255899.html

6 **Карпухин, Е. О., Makarenkov, N. S.** Primenenie signalov OCDM-OFDM s psevdosluchajnoj perestrojkoj rabochej chastoty dlya predotvrashcheniya atak na fizicheskom urovne [Application of OCDM-OFDM signals with pseudorandom tuning of the operating frequency to prevent attacks at the physical level] // Trudy MAI – 2019 – № 106. – 1-8 p.

7 Slozhenie garmonicheskikh kolebanij. Kolebaniya. Fizika. Kurs lekcij [Addition of harmonic oscillations. Fluctuations. Physics. Course of lectures]. – <https://siblec.ru/estestvennye-nauki/kolebaniya/2-slozhenie-garmonicheskikh-kolebanij>

8 **Kosjakov, I. O., Aldanijarov, B. Zh., Polushin, M. Ju.** Proektirovanie principal'noj shemy moduljatora 16-QAM na fazoinvertirujushhij operacionnyh usiteljah v prilozhenii multisim [Design of the schematic diagram of the 16-QAM modulator on phase-inverting operational amplifiers in the multisim application] // Vestnik KazATK – 2020 – № 1 (112). –311-317 p.

9 **Kadukov, E. P.** Model' radiosignalov s modulyaciej s nepreryvnyim izmeneniem fazy v prostranstve parametrov fazovyh diagramm i kompleks informativnyh priznakov dlya raspoznavaniya vidov modulyacii izluchenij sputnikovyh sistem svyazi [A model of radio signals with modulation with continuous phase change in the space of parameters of phase diagrams and a set of informative features for recognizing the types of modulation of radiation from satellite communication systems] // ZHurnal radioelektroniki – 2019 – № 7. – <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.7.12>

10 **Chirov, D. S., Vinogradov, A. N., Kandaurova, E. O.** Raspoznavanie vidov modulyacii radiosignalov v kognitivnyh sistemah ionosfernoj svyazi [Recognition of radio signal modulation types in cognitive ionospheric communication systems] // Fundamental'nye problemy radioelektronogo priborostroeniya MIREA – 2018 – № 4. – 919-922 p.

* **И. О. Косяков¹, Г. В. Луценко²**

¹Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²ҰҚК Академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

**СИГНАЛДЫ МАНИПУЛЯЦИЯЛАУ НЕГІЗІНДЕ РАДИО
ЖЕЛІЛЕРДЕ ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУДЫҢ
АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ**

Мақалада сигналды манипуляциялау негізінде радио желілерінде деректерді қорғаудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу

қарастырылады. Әдістердің мәні сигналдың техникалық талдауын болдырмауға мүмкіндік беретін модуляция түрін жалған кездейсоқ қайта құруды қолдану болып табылады және осылайша оның шифрын ашу ықтималдығын азайтады. Радио желілердегі деректерді қосымша қорғау қажеттілігі жеке деректерді де, эфирде жүретін қызметтік ақпаратты да ұстап алу және декодтау үшін қолданылуы мүмкін сигналдарды техникалық талдауға арналған кешендердің үлкен таралуына байланысты туындайды. Радио желілерде деректерді қорғау схемасын құру үшін мақалада математикалық функциялар келтірілген, олар талаптарға сай болуы керек. Осы талаптарға сүйене отырып, модельдеу бағдарламасында модуляцияның бірнеше түрі арасында ауысу мүмкіндіктерін біріктіретін схема жасалды. Сондай-ақ, схемада ARQ алгоритмі негізінде қолайлы беру шарттары болмаған жағдайда модуляция индекстерін автоматтандырылған төмендету қарастырылған. Модуляциялар ретінде QPSK, 8-QAM және 16-QAM таңдалды, олардың сигналдық шоқжұлдыздарының бір-біріне қабаттасуына байланысты. Мұндай сигналдарды техникалық талдаудың қиындығы-сигналды топтық бағалау мүмкіндігінсіз оларды дәйекті талдау қажеттілігі. Әзірленген схеманы бағалау үшін мақалада қолданылатын модуляцияның әр түрі үшін сигнал шоқжұлдызының нүктелерін өлшеу нәтижелері келтірілген. Соңында алынған сигналдың спектрі суреттеледі. Мақала ақпаратты қорғау және автоматтандыру саласындағы мамандарға пайдалы болады. Таратушы құрылғы трактісінде алынған схеманы іске асыру деректердің құпиялылығының неғұрлым жоғары деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. ARQ алгоритмін қолдану жүйеге ағымдағы тасымалдау шарттарына бейімделуге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: автоматтандырылған жүйе, ақпараттық қауіпсіздік, радио желілері, радиотехника, сандық модуляция, радиожіілікті жалған кездейсоқ қайта құру.

I. O. Kossyakov¹, G. V. Lucenko²

¹International university of transport and humanities, Republic of Kazakhstan, Almaty.

²NSC Academy, Republic of Kazakhstan, Almaty.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED DATA PROTECTION SYSTEM IN RADIO NETWORKS BASED ON SIGNAL MANIPULATION

The article discusses the development of an automated data protection system in radio networks based on signal manipulation. The essence of the

methods is the use of pseudo-random adjustment of the modulation type, which will prevent technical analysis of the signal, and thereby reduce the likelihood of its decryption. The need for additional data protection in radio networks arises due to the large spread of complexes for technical analysis of signals that can be used to intercept and decrypt both personal data and official information plying the air. To create a data protection scheme in radio networks, the article provides mathematical functions, the requirements of which it must meet. Based on these requirements, a schematic diagram was developed in the simulator program that combines the possibilities of switching between several types of modulation. The scheme also provides for automated reduction of modulation indices in the absence of acceptable transmission conditions based on the ARQ algorithm. QPSK, 8-QAM and 16-QAM were chosen as modulations, due to the superposition of their signal constellations on each other. The difficulty of technical analysis of such signals lies in the need for their sequential analysis without the possibility of a group evaluation of the signal. To evaluate the developed scheme, the article presents the results of measurements of the signal constellation points for each type of modulation used. Finally, the spectrum of the received signal is illustrated. The article will be useful for specialists in the field of information security and automation. The implementation of the resulting scheme in the path of the transmitting device will ensure a higher level of data confidentiality. The use of the ARQ algorithm will allow the system to adjust to the current transmission conditions.

Keywords: automated system, information security, radio networks, radio engineering, digital modulation, frequency hopping.

МРНТИ 44.01.77

С. М. Махмутова*, А. А. Калинин

Карагандинский Технический университет имени Абылкаса

Сагинова, Республика Казахстан, Караганда

*e-mail: s.mahmutova@kstu.kz

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ЗОН В ВОЗДУХОВОДЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Целью статьи является сравнение методик исследования вихревых зон в воздуховоде горнодобывающих предприятий с помощью программы Ansys Fluent. В статье представлены численные и экспериментальные результаты изучения очертаний вихревых зон, образующихся в месте установки раструба с использованием программного комплекса Ansys Fluent. Получены графические и аналитические изменения коэффициентов местного сопротивления с помощью метода дискретных вихрей и вычислительной гидродинамики, а также сравнение результатов исследований. Результаты исследования должны показать уменьшение коэффициентов местного сопротивления в местах завихрения воздушного потока за счет профилирующих элементов, что приведет к уменьшению потребления энергии и повысит эффективность системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Сравнение методик поможет подобрать определенную конструкцию профилирующего элемента (раструба), оптимальную длину, диаметр и т.д. Метод дискретных волн может быть применен для моделирования звуковых волн в воздухе, акустических явлений и распространения звука в атмосфере, этот метод может быть полезен при моделировании взаимодействия воздуха с различными объектами, в то время как вычислительная гидродинамика может быть использована для моделирования течений воздуха в различных условиях, таких как аэродинамические процессы, обтекание объектов, аэродинамическое торможение и другие явления.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, метод дискретных вихрей, вычислительная гидродинамика, раструб.

Введение

Энергоэффективность воздухопроводов шахт является важным аспектом для обеспечения безопасной и эффективной работы горных предприятий [1]. Воздуховоды играют ключевую роль в поддержании необходимой вентиляции и обеспечении своевременной подачи свежего воздуха в места добычи. Однако, неправильно спроектированные и

установленные воздуховоды могут привести к значительным потерям энергии и увеличению затрат на электроэнергию [2].

Повышение энергоэффективности воздуховодов может быть достигнуто путем использования современных технологий и материалов, оптимизации конструкции и улучшения системы управления [3]. Например, использование воздуховодов с утеплителем может значительно снизить потери тепла и повысить эффективность системы вентиляции. Также, применение систем автоматического контроля и управления может помочь оптимизировать работу вентиляционной системы и снизить затраты на электроэнергию. Также, изменение конструкции воздуховодов может помочь значительно снизить коэффициент сопротивления и, следовательно, сэкономить электроэнергию.

Улучшение энергоэффективности воздуховодов шахт не только позволит снизить затраты на электроэнергию, но и снизит вредное воздействие на окружающую среду и улучшит условия труда для рабочих на горных предприятиях [4].

Материалы и методы

При численном расчете методами CFD (вычислительная гидродинамика) использовались настройки компьютерной модели в результате подробной валидации. В качестве модели турбулентности была выбрана модель Рейнольдсовых напряжений, в сочетании с «расширенным» пристеночным моделированием [5].

Граничные условия (ГУ) (рисунок 1): АВ – вытяжная граница (ГУ “Velocity Inlet”) с равномерным профилем скорости, со значением, соответствующим экспериментальному (v_x от 5,13 м/с до 7,59 м/с), BCDE – непроницаемая стенка (“Wall”), CFGI – проницаемая граница (ГУ “Pressure Inlet”, со значением избыточного давления равным нулю), AI – ось симметрии расчетной области (“Symmetry”). Размеры ячеек первоначальной расчетной сетки, прилегающих к границам профилированных участков раструбов, были взяты достаточно мелкими (~0,3 мм), для обеспечения необходимой плавности профиля. При удалении от профилированного участка размеры ячеек плавно увеличивались до (~30 мм), общее количество ячеек в расчетной области около 20 тысяч. Сетка не структурированная с четырехугольными элементами. Радиус канала $R = 0,056$ м. Размер внешней области – 1 м в каждую сторону от раструба по горизонтали и 1 м по вертикали. Длина канала – 1,5 м. Расчеты проводились для раструбов с длиной фланца $d = 1R, 2R, 3R, 5R$ и углами наклона $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ и 90° . Очертания профилей соответствовали очертаниям вихревых зон, найденных из решения задач о непрофилированных («острых») раструбах. Поскольку при таком течении образуются две вихревые зоны (ВЗ) – на входе в раструб (1 ВЗ) и на входе в канал (место

присоединения раструба к каналу – 2 ВЗ), исследуется влияние профилирования по очертаниям каждой из этих зон, а также при профилировании по очертаниям, полученным из расчета методом дискретных вихрей (МДВ) [6].

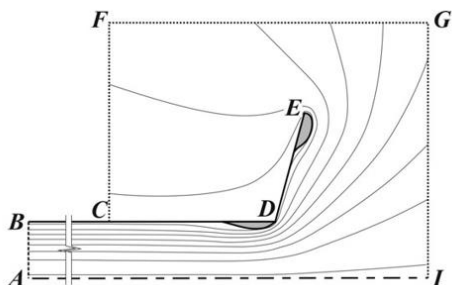


Рисунок 1 – Геометрия расчетной области модели раструба профилированного по очертаниям обеих вихревых зон.

Каждая задача исследовалась на сеточную сходимость, для чего проводилось поэтапное измельчение первоначальной грубой сетки, сначала во всей области, затем с уменьшением области адаптации, и затем в несколько этапов – вдоль твердых границ, для правильного разрешения сеткой пограничных слоев. При этом определялось значение коэффициента местного сопротивления (КМС), а степень измельчения характеризовалась безразмерным значением величины y^+ . На рисунке 2 приведены графики изменения КМС при измельчении сетки для разных видов профилирования вытяжного зонта с углом наклона фланца 90° и длиной $d=1R$, иллюстрирующие исследование на сеточную сходимость (1 ВЗ – по очертанию первой вихревой зоны; 2 ВЗ – по очертанию второй ВЗ; 1,2 ВЗ – по очертаниям первой и второй ВЗ, найденным из CFD и МДВ исследованиям). При профилировании по очертаниям из МДВ для второй ВЗ взята конструкция «без заужения», поскольку, используя МДВ невозможно найти точку замыкания второй ВЗ на стенке канала [7].

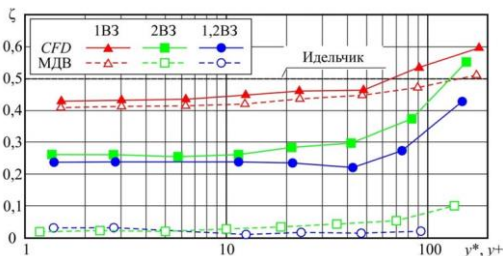


Рисунок 2 – Исследование на сеточную сходимость при разных видах профилирования.

Характер изменения КМС при измельчении, который не зависит от вида профилирования, указывает на то, что решение для последних наиболее измельченных сеток перестает зависеть от размера ячеек, то есть достигается сеточная сходимость численного решения. При этом размер минимальных ячеек составляет порядка 0,6 мкм, а их общее количество порядка 800 тысяч.

Профилирование по очертаниям из МДВ и CFD. Для оценки влияния на КМС профилирования по очертаниям первой и второй ВЗ для задачи с углом наклона фланца 90° и его длиной $1R$ были построены модели с профилированием по очертаниям первой ВЗ – полученные методом CFD (рисунок 3а) и МДВ (рисунок 3б), модель с профилированием по очертанию второй ВЗ (рисунок 3в) и модель с профилированием по очертаниям и первой и второй ВЗ, полученным из CFD (рисунок 3г). На рисунке 3 (а, б, в, г) показаны линии тока получившихся течений: а) по первой ВЗ методом CFD; б) по первой ВЗ методом МДВ; в) по второй ВЗ методом CFD; г) по первой и второй ВЗ методом CFD.

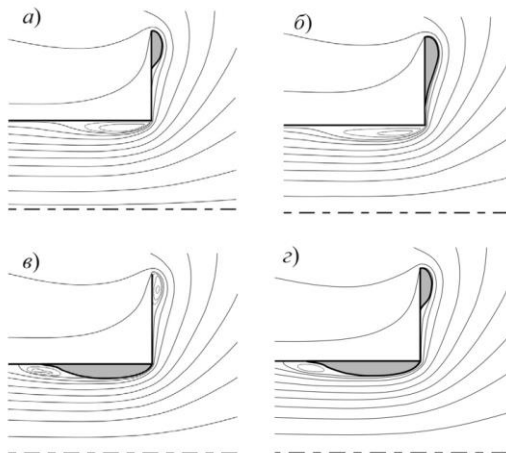


Рисунок 3 – Линии тока течений для разных вариантов профилирования.

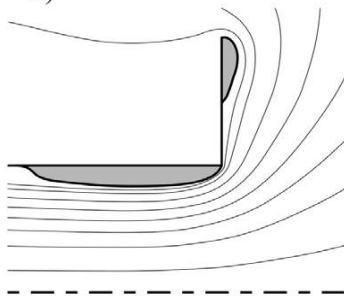
Видно, что профилирование по очертанию ВЗ найденному при помощи МДВ приводит к плавному, безотрывному течению (рисунок 3б), а резкое замыкание на стенке раструба профиля, найденного методом CFD, приводит к образованию после профилированного участка, вторичной вихревой зоны (рисунок 3а и в), которая значительно меньше первичной.

При профилировании по очертанию первой ВЗ, полученному при помощи CFD КМС снижается до 0,42, то есть на 16%, относительно не профилированной конструкции (рисунок 3а), а при помощи МДВ до 0,409, то есть на 18% (рисунок 3б). При профилировании по второй ВЗ, найденной по CFD (рисунок 3в) КМС снижается на 48% и составляет 0,262, то есть влияние второй ВЗ для этой конструкции более существенно, чем первой, что может объясняться более высокими скоростями движения воздуха в ней. При профилировании по обоим очертаниям ВЗ, найденным по CFD (рисунок 3г), КМС снижается на 53% и равен 0,237, при дальнейшем профилировании по возникшим в этом случае вторичным ВЗ КМС снижается на 62% (относительно непрофилированного раструба) и равен 0,162 (рисунок 3а).

Еще больше можно снизить КМС (ζ), если убрать заужение потока в трубе. Линии тока при профилировании: а) по вторичным ВЗ по CFD; б) по второй ВЗ по МДВ без заужения; в) по первой и второй ВЗ по МДВ без заужения; г) по первой и второй ВЗ по МДВ без заужения – «ломаный» вытяжной зонт; д) профилированного по обоим ВЗ по очертаниям из CFD; е) непрофилированный (рисунок 4).

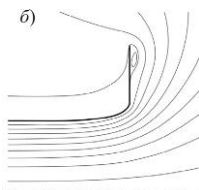
$$\zeta = 0,162; \Delta\zeta = 62\%$$

а)



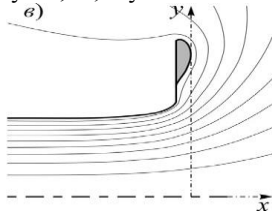
$$\zeta = 0,022; \Delta\zeta = 96\%$$

б)



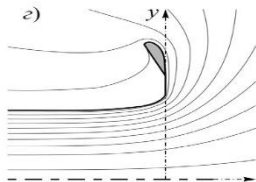
$$\zeta = 0,01; \Delta\zeta = 98\%$$

в)



$$\zeta = 0,035; \Delta\zeta = 93\%$$

г)



$$\zeta = 0,262; \Delta\zeta = 48\%$$

$$\zeta = 0,5$$



Рисунок 4 – Линии тока течений при профилировании.

Профилированием по второй ВЗ, выполненным по очертанию, найденному при помощи МДВ, как показано на рисунок 4 б, можно снизить КМС на 96% до 0,022. КМС профилированного этим способом раструба по обеим ВЗ, найденным по МДВ (рисунок 4 в), составляет 0,01, т.е. снижается на 98%. Можно убрать и загромождение потоку, образованное профилированием по первой ВЗ. Для этого делается излом (рисунок 4 г) под таким углом, чтобы очертание ВЗ сливалось с первой частью раструба – «ломаный» раструб. В этом случае КМС будет равен 0,035 (снижение на 93%).

Результаты и обсуждения

Как уже отмечалось, очертания вихревой зоны, найденные по МДВ, более плавно замыкаются на стенку чем численно. В связи с этим, при моделировании течения в профилированном раструбе по очертаниям из CFD в области, где профилированный участок примыкает к исходной стенке раструба, возникает вихревая зона («вторичная»), которая меньше исходной, по которой проводилось профилирование. При профилировании по очертаниям, найденным МДВ, поскольку они более плавно замыкаются на стенку, таких вторичных ВЗ не зафиксировано (рисунок 5). Здесь на рисунке 5 а и б показаны линии тока для течения к раструбу с длиной полки $2R$ и углом раскрытия $\alpha = 30^\circ$, профилированным по очертаниям CFD и МДВ соответственно, при этом значения КМС составили соответственно $\zeta_{\text{CFDпроф}} = 0,052$; $\zeta_{\text{МДВпроф}} = 0,047$; $\zeta_{\text{CFDнепроф}} = 0,0508$ [9].

В приведенном примере раструба с длиной полки $2R$ и углом раскрытия $\alpha = 30^\circ$ вторая ВЗ практически не возникает, и, по приведенным данным, профилирование по очертаниям CFD приводит даже к некоторому увеличению КМС, однако это скорее наложение погрешности численного эксперимента при очень малых значениях самих КМС, а также результат отсутствия эффекта снижения КМС при профилировании только по первой ВЗ.

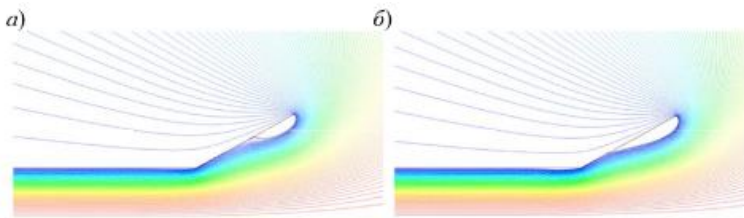


Рисунок 5– Профилирование по очертаниям ВЗ из CFD (а) и МДВ (б) моделирования.

Выводы

Разница между значениями КМС, определенными методом CFD для непрофилированной и профилированной конструкций, составляет всего 2,3%, снижение при использовании профиля МДВ составляет 7,4%, что тоже очень мало и может объясняться погрешностью расчета. Ясно, что лучше использовать очертания, полностью исключая вихреобразование (по МДВ), но оценить насколько это более энергоэффективно, пока не представляется возможным, поскольку основной эффект на снижение КМС оказывает профилирование по второй ВЗ, очертания которой в МДВ нельзя определить на всем ее протяжении до точки замыкания на стенке. Поэтому этот профиль лучше использовать в виде конструкций со сдвигом профилированного участка, когда не существенен вопрос о габаритах раструба, поскольку такая конструкция имеет большие размеры по сравнению с профилированием без сдвига. По поводу профилирования по первой ВЗ, также нужно отметить, что, исключая возникновение ВЗ, предотвращается возможный обратный вынос пылевых частиц [10].

Для случая использования профилирования без сдвига профилированного участка использовать очертания второй ВЗ, найденной из МДВ невозможно, и далее используются очертания, найденные из численного моделирования CFD, в том числе и для первой ВЗ. Для дальнейших исследований необходимо будет также рассмотреть вторую вихревую зону и определить изменения значений КМС. С помощью уменьшения коэффициента сопротивления можно достичь значительной экономии энергии и повышения эффективности работы системы вентиляции.

Список используемой литературы

- 1 **Идельчик, И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям // Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1992 - 672 с.
- 2 **Велькин, В. И., Щелоков, Я. М., Щеклеин, С. Е.** Возобновляемая энергетика и энергосбережение // Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та 2020 - 312 с.
- 3 **Посохин, В.Н.** Аэродинамика вентиляции // М. : АВОК-ПРЕСС, 2008 - С. 214
- 4 **Зиганшин, А. М., Батрова, К. Э., Гимадиева, Г. А.** Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018 - № 7 - С. 53-65.
- 5 **Махмутова, С. М., Калинин, А. А., Бот, Р., Мосави, А., Смагулова, К. К.** Analysis of ways to increase energy efficiency of ventilation systems at mining enterprises (Препринт, Acta Politechnica Hungarica).
- 6 **Li A.** et al. Study on local drag reduction effects of wedge-shaped component in elbow and T-junction close-coupled pipes // Build. Simul. 2014 – Vol. 7 – № 2 – PP. 175–184.
- 7 **J. Chen,** Research on the axial velocity change rule of desktop slot exhaust hood, Ind. Health. 56 (2018) - PP. 278-284.
- 8 **Pietrowicz S., Kolasinski P., Pomorski M.** Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method // Chem. Eng. Res.Des. 2018 - Vol. 132 - PP. 627-643.
- 9 **Logachev K. I.** et al. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods // Energy Build. 2018 - Vol. 173- PP. 58-70.
- 10 **Бадыкова, Л. Н., Беляева, Е. Э., Гимадиева Г. А.** Испытание установки для исследования энергоэффективных вентиляционных фасонных деталей // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017 - № 4 - С. 25-34.

References

- 1 **Idel'chik, I. E.** Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Handbook of hydraulic resistance] // Pod red. M.O. Shtejnberga. 3-e id., pererab. i dop. Moscow :Mashinostroenie, 1992 – P. 672.
- 2 **Vel'kin, V. I., Shhelokov, Ya. M., Shheklein, S. E.** Vozobnovlyaemaya e`nergetika i e`nergoberezhenie [Renewable energy and energy saving] // Ekaterinburg: Izd-vo Ural. Un-ta 2020 – P. 312 .
- 3 **Posokhin, V. N.** Ae`roodinamika ventilyaczii. [Aerodynamics of ventilation] / Moscow : AVOK-PRESS, 2008 - P. 214

4 **Ziganshin, A. M., Batrova, K. E., Gimadieva, G.A.** Chislennoe opredelenie kharakteristik techeniya cherez poslednee bokovoe otverstie v vozdukhovode [Numerical determination of flow characteristics through the last side opening in the air duct] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 2018- № 7 - pp. 53-65.

5 **Makhmutova, S. M., Kalinin, A. A., Bot, R., Mosavi, A., Smagulova, K. K.** Analysis of ways to increase energy efficiency of ventilation systems at mining enterprises [Analysis of ways to increase energy efficiency of ventilation systems at mining enterprises] (Preprint, Acta Politechnica Hungarica).

6 **Li A.** et al. Study on local drag reduction effects of wedge-shaped component in elbow and T-junction close-coupled pipes [Study on local drag reduction effects of wedge-shaped component in elbow and T-junction close-coupled pipes] // Build. Simul. 2014 –Vol. 7 –№ 2 – PP. 175–184.

7 **J. Chen** Research on the axial velocity change rule of desktop slot exhaust hood [Research on the axial velocity change rule of desktop slot exhaust hood], Ind. Health. 56 (2018) - PP. 278-284.

8 **Pietrowicz S., Kolasinski P., Pomorski M.** Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method [Experimental and numerical flow analysis and design optimization of a fume hood using the CFD method] // Chem. Eng. Res.Des. 2018 – Vol. 132 – PP. 627–643.

9 **Logachev, K. I.** et al. A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods [A survey of separated airflow patterns at inlet of circular exhaust hoods] // Energy Build. 2018 – Vol. 173 – pp. 58–70.

10 **Badykova, L. N., Belyaeva, E. E., Gimadieva, G. A.** Ispytanie ustanovki dlya issledovaniya energoeffektivnykh ventilyazionnykh fazonnykh detalej [Testing of an installation for the study of energy-efficient ventilation fittings] // Zhilishhnoe khozyajstvo i kommunalnaya infrastruktura. 2017 – № 4 – P. 25–34.

***С. М. Махмутова, А. А. Калинин**

Карагандинский Технический университет имени Абылкаса
Сагинова, Республика Казахстан, Караганда

ТАУ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ АУА КУРАСЫНДАҒЫ ҚҰЙЫНДЫ АЙМАҚТАРДЫ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Мақаланың мақсаты - Ansys Fluent бағдарламасын пайдалана отырып, тау-кен кәсіпорындарының ауа арнасындағы құйынды аймақтарды зерттеу әдістерін салыстыру. Мақалада Ansys Fluent бағдарламалық пакетінің көмегімен қоңырауды орнату орнында пайда болған құйынды аймақтардың контурларын зерттеудің сандық және эксперименттік нәтижелері берілген. Жергілікті қарсылық коэффициенттерінің графикалық және аналитикалық өзгерістері дискретті құйынды әдіс және есептеу сұйықтығының динамикасы, сондай-ақ зерттеу нәтижелерін салыстыру арқылы алынды. Зерттеу нәтижелері профильдеу элементтеріне байланысты ауа ағыны бұралатын жерлерде жергілікті қарсылық коэффициенттерінің төмендеуін көрсетуі керек, бұл энергияны тұтынуды азайтуға және желдету және ауаны баптау жүйесінің тиімділігін арттыруға әкеледі. Әдістерді салыстыру профильдеу элементінің (розетканың) нақты дизайнын, оңтайлы ұзындығын, диаметрін және т.б. таңдауға көмектеседі. Дискретті толқындық әдіс ауадағы дыбыс толқындарын, акустикалық құбылыстарды және атмосферадағы дыбыстың таралуын имитациялау үшін қолданылуы мүмкін, бұл әдіс ауаның әртүрлі объектілермен әрекеттесуін модельдеу үшін пайдалы болуы мүмкін, ал есептеу сұйықтығының динамикасы ауа ағындарын модельдеу үшін пайдаланылуы мүмкін. әртүрлі жағдайлар, мысалы, аэродинамикалық процестер, объектілердің айналасындағы ағындар, аэродинамикалық тежеу және басқа құбылыстар.

Кілтті сөздер: энергия үнемдеу, энергия тиімділігі, дискретті құйынды әдіс, есептеу сұйықтығының динамикасы, қоңырау.

M. S. Makhmutova*, A. A. Kalinin
Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

METHODS FOR STUDYING VORTEX ZONES IN THE AIR DUCT OF MINING ENTERPRISES

The purpose of the article is to compare methods for studying vortex zones in the air duct of mining enterprises using the Ansys Fluent program. The article presents numerical and experimental results of studying the outlines of vortex zones formed at the installation site of the bell using the Ansys Fluent software package. Graphical and analytical changes in local resistance coefficients were obtained using the discrete vortex method and computational fluid dynamics, as well as a comparison of research results. The results of the study should show a reduction in local resistance coefficients in places where the air flow swirls due to profiling elements, which will lead to a reduction in energy consumption and increase the efficiency of the ventilation and air conditioning system. Comparison of methods will help you select a specific design of the profiling element (trumpet), optimal length, diameter, etc. The discrete wave method can be applied to simulate sound waves in air, acoustic phenomena and sound propagation in the atmosphere, this method can be useful in simulating the interaction of air with various objects, while computational fluid dynamics can be used to simulate air flows under various conditions, such as aerodynamic processes, flow around objects, aerodynamic braking and other phenomena.

Key words: energy saving, energy efficiency, discrete vortex method, computational fluid dynamics, trumpet.

МРНТИ 47.61.33

DOI xxxxxxxxxxxxxxxx

***М. Ж. Мусагажинов¹, А. В. Юрченко², А. П. Кислов³
А. С. Звонцов⁴**

¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Астана

²Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Российская Федерация, г. Томск,

^{3,4}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар
*e-mail: musagazhinov@bk.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ТРЕЩИНЫ СДВИГА В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

В этой статье излагаются исследования, показывающие возможности распределенных волоконно-оптических датчиков (РВОД) в их применении для мониторинга состояния конструкции и характеристик сдвига бетонных конструкций. При мониторинге состояния конструкции получены характеристики трещины при сдвиге бетонных элементов: обнаружение, локализация и количественная оценка повреждения при сдвиге. В настоящей статье количественная оценка рассматривается путем предложения метода для получения средней ширины трещины сдвига в бетонных балках.

Метод основан на данных, полученных при наклеивании РВОД на бетонную поверхность. Дан пример РВОД и расчет определения деформаций.

Распределенные волоконно-оптические датчики – это тип сенсорной технологии, которая использует оптическое волокно в качестве чувствительной среды для обнаружения и измерения различных физических параметров, таких как температура, деформация и давление. Оптический рефлектометр с обратным рассеянием (ОВР) – это широко используемый метод опроса ВОД, который обеспечивает измерение с высоким разрешением на больших расстояниях.

Принцип, лежащий в основе РВОД, основан на том факте, что оптическое волокно, изготовленное из стекла или пластика, может передавать свет на большие расстояния с очень небольшим затуханием.

Свет, проходящий по волокну, взаимодействует с окружающей средой, вызывая изменения в его оптических свойствах, таких как

показатель преломления, который можно измерить и соотнести с физическими параметрами.

Ключевые слова: *Ширина трещины сдвига, волоконно-оптические датчики, рефлектометр обратного рассеяния, бреллиэновская оптическая рефлектометрия, рефлектометрия временной области.*

Введение

Традиционно ширина трещины измерялась с использованием метода визуального контроля или калибровочного метода, который включает в себя размещение датчика ширины трещины над трещиной и измерение ширины.

Однако эти методы имеют ограничения, поскольку они предоставляют только моментальный снимок ширины трещины в один момент времени и не учитывают изменения ширины трещины с течением времени [1].

Волоконно-оптические датчики становятся все более популярными для мониторинга различных видов гражданской инфраструктуры.

Будучи невосприимчивыми к электромагнитным помехам и демонстрируя превосходную долговечность в суровых условиях окружающей среды, оптические волокна имеют явное преимущество перед традиционными датчиками в этой области. Более того, распределенные волоконно-оптические датчики (РВОД) позволяют получать данные с плотным разнесением на очень большие расстояния с помощью одного измерительного устройства. В области гражданского строительства, где обычные датчики являются почти исключительно точечными, РВОД обещает стать революционной технологией, которая дает беспрецедентные возможности для масштабирования систем мониторинга с относительной легкостью [5].

Полномасштабные испытания свайных фундаментов - это одно из конкретных применений, где ожидается, что РВОД окажет значительное влияние. Испытания свай проводятся на небольшом количестве рабочих свай или пробных свай на строительной площадке для проверки конструкции фундамента до начала строительства.

Испытания свай также полезны для контроля качества и постоянного улучшения конструкции свай и методов строительства.

Испытание на выдерживаемую статическую вертикальную нагрузку является одним из наиболее распространенных типов испытаний свай в научно исследовательской работе. К испытательной свае поэтапно прикладывается контролируемая сжимающая или растягивающая нагрузка, при этом регистрируется реакция сваи. Это влечет за собой измерение вертикального отклонения в верхней части сваи, а также деформации и относительного смещения внутри сваи. Внутренние

измерения обычно проводятся с помощью встроенных вибропроводочных тензорезисторов и извлекаемых экстензометров, расположенных в нескольких местах вдоль сваи на расстоянии нескольких метров друг от друга [8].

Эти традиционные контрольно-измерительные системы уже много лет используются в индустрии испытаний свай и считаются надежными и прочными [11]. Однако они имеют один существенный недостаток: они состоят из точечных датчиков и, следовательно, не могут дать полной картины отклика сваи по всей ее глубине. Показания этих датчиков могут ввести в заблуждение, если в свае или в земле рядом с датчиком возникнет локальный эффект [15]. И наоборот, точечные датчики не могут обнаруживать какие-либо локальные эффекты, которые не находятся в их непосредственной близости и которые могут быть важны для оценки работы сваи. Единственный способ получить полный профиль деформации и прогиба вдоль сваи – использовать распределенную систему измерения. Именно здесь РВОД может сыграть важную роль.

Материалы и методы

Принцип, лежащий в основе РВОД, основан на том факте, что оптическое волокно, изготовленное из стекла или пластика, может передавать свет на большие расстояния с очень небольшим затуханием.

Свет, проходящий по волокну, взаимодействует с окружающей средой, вызывая изменения в его оптических свойствах, таких как показатель преломления, который можно измерить и соотнести с физическими параметрами.

Одним из главных преимуществ РВОД является их способность обеспечивать распределенное зондирование, что означает, что они могут обнаруживать изменения по всей длине волокна. Это достигается за счет использования различных чувствительных механизмов, таких как решетки Брэгга, полости Фабри-Перо или волоконно-оптические интерферометры, которые встроены в структуру волокна через равные промежутки времени.

Метод OBR используется для опроса РВОД путем отправки светового импульса вниз по волокну и измерения обратного рассеяния света, который отражается обратно к источнику. Обратное рассеянный свет несет информацию о физических изменениях, произошедших по длине волокна, что позволяет получать изображения с высоким разрешением.

РВОД и OBR широко используются в различных областях применения, включая мониторинг состояния конструкций, мониторинг нефте- и газопроводов и геофизический мониторинг. При мониторинге состояния конструкций ВОД используются для обнаружения изменений деформации и температуры в мостах, зданиях и других конструкциях, что позволяет на ранней стадии выявлять потенциальные отказы.

Бриллюэновская оптическая рефлектометрия во временной области (БОРВО) использовалась для измерения деформации и температуры бетона от этих двух кабелей соответственно.

Два троса были установлены парой в U-образных петлях вдоль арматурных каркасов свай, прежде чем каркасы были вставлены в отверстие сваи.

Каждая петля состоит из ножки вдоль одной стороны клетки, обертки вокруг половины окружности клетки внизу и ножки вдоль противоположной стороны клетки.

Когда в бетоне образуется трещина, напряжение внутри волокнистой сетки изменяется, что регистрируется источником света на одном конце волокна и измеряется детектором на другом конце.

Анализируя изменения деформации с течением времени, исследователи могут оценить ширину трещины, показанной на рисунке 2.

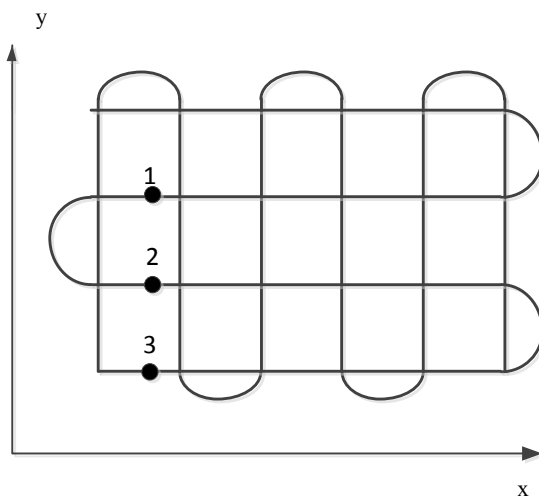


Рисунок 2 – Установка сетки с координатами

Волоконно-оптические кабели были прикреплены к арматурным стержням сваи на каждом конце сваи с помощью пластиковых кабельных стяжек и резиновых трубок с прорезями.

Между точками крепления тросы удерживались вплотную к арматуре с помощью свободных кабельных стяжек, расположенных с интервалом от 0,5 до 1 м. Перед фиксацией натяжной трос был предварительно натянут вручную между точками крепления.

Каждая свая была оборудована как минимум одной петлей оптоволоконного кабеля. Две сваи были оборудованы дополнительной петлей ВОК перпендикулярно первой, а еще две сваи были оснащены дополнительной петлей ВОК, прикрепленной к пучку арматурных стержней, размещенных в центре сваи. Отдельные кабели для измерения температуры и напряжения, выходящие из верхней части сваи, были последовательно соединены вместе либо непосредственно с помощью сварки. Таким образом, аппаратура каждой сваи состояла из одной цепи РВОД, включающей в себя датчики температуры и напряжения, которые можно было опрашивать одновременно с одного канала оптического анализатора.

Результаты и обсуждение

Точка 1 (рисунок 2) соответствует снятым данным кривой 1 на рисунке 3

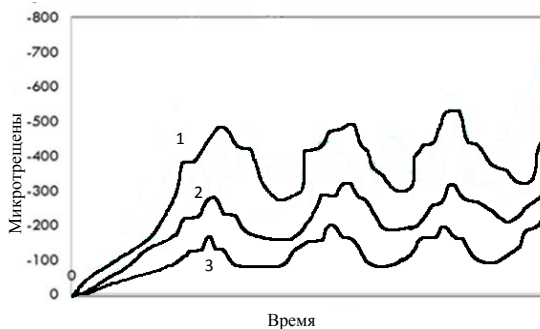


Рисунок 3 – Данные с датчика РВОД

Через координаты (x, y) , идентифицируется любая точка измерения РВОД. Эти координаты являются функцией пространственного разрешения, заданного в системе OBR, которое в данном случае составляло 1 см. В случае двумерной сетки пространственное разрешение преобразуется в приращение x и y между координатами x, y в обоих направлениях, как показано на рисунке 2. После этого на входе анализа информации, полученной с помощью системы OBR, можно добиться отслеживания картины прогрессирующего растрескивания в инструментированной зоне. Изменение деформации вдоль волокна позволяет определить момент начала растрескивания и его создания.

Оценка ширины трещины сдвига основана на интеграции данных о деформации, полученных с помощью системы OBR. Одним из примеров этих «квази» непрерывных данных (полученных с пространственным разрешением 1 см) вдоль горизонтального направления x показано на рисунке 4. Горизонтальная линия соответствует максимальному

растяжению бетона. При превышении этого порогового значения появляются пики, связанные с наличием трещин.

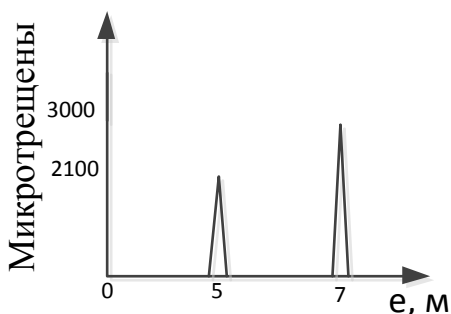


Рисунок 4 – Определение трещин в бетоне

Одной из характеристик записей OBR при испытании на сдвиг является то, что бетонная поверхность представляет значения напряжения только в трещинах, и из-за механизма напряжения сдвига бетон между трещинами в основном сжимается, это также показано на рисунке 4. На этом рисунке показана характерная длина бетона с трещинами. Считается, что трещина включает в себя всю площадь, в которой происходит растрескивание при сдвиге. Кроме того, в каждом направлении x или y . Эти длины включают только зону, в которой растягивающая деформация бетона превышена в каждом направлении x или y .

В двумерной сетке, сформированной ВОД, одна или несколько трещин обнаруживаются одновременно в двух ортогональных направлениях x и y для заданного значения испытательной нагрузки. Как уже упоминалось, в горизонтальном направлении большая часть бетона сжимается, за исключением тех мест, где были обнаружены трещины.

Чтобы определить площадь интегрирования под кривой в данном горизонтальном сечении РВОД и применить метод OBR для расчета ширины трещины сдвига, определяется деформация, связанная с максимальным напряжением бетона в направлении x .

Такой же процесс осуществляется на каждом из контролируемых горизонтальных участков. Первоначально угол θ неизвестен, но его также можно получить благодаря данным, поступающим из ВОД. Таким образом, из (1) он может быть установлен для ВОД в обоих направлениях.

Правая часть (1) представляет среднюю деформацию в зоне трещины в их направлении как интеграл деформации в каждой из n эффективных длин L_x , где есть трещина

$$e_{mx} = \frac{1}{L_{ex}} \sum_{i=1}^n \int_0^{L_x} e_{ox} dx \quad (1)$$

где

$$L_{ex} = \sum_{i=1}^n L_x \quad (2)$$

Аналогичный процесс выполняется с данными вертикальной деформации.

В вертикальных записях присвоение длины трещины L_y осуществляется также.

РВОД обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами измерения ширины трещин. Во-первых, он обеспечивает непрерывный мониторинг ширины трещины с течением времени, позволяя на ранней стадии обнаруживать изменения ширины трещины и иметь возможность вмешаться до того, как трещина станет серьезной проблемой. Во-вторых, он неразрушающий, что означает, что волоконная сетка может быть встроена в конструкцию, не повреждая ее.

Это особенно важно для таких конструкций, как мосты или здания, где использование методов разрушающего контроля может поставить под угрозу их структурную целостность.

В дополнение к измерению ширины трещины, РВОД может также использоваться для других целей структурного мониторинга, таких как измерение деформации внутри бетонной конструкции или обнаружение начала коррозии в арматурной стали.

Однако у метода ВОД есть некоторые ограничения. Во-первых, установка может быть дорогостоящей, особенно в крупных сооружениях, где может потребоваться большое количество волоконной сетки. Во-вторых, на точность метода могут влиять такие факторы, как установка волоконной сетки, наличие других факторов, которые могут повлиять на деформацию внутри конструкции, или изменения условий окружающей среды.

Выводы

В заключение, DOFS и OBR являются мощными методами зондирования, которые обеспечивают возможности распределенного зондирования с высоким разрешением. Они имеют широкий спектр применения в различных областях, включая мониторинг состояния конструкций, мониторинг нефте- и газопроводов и геофизический мониторинг. С дальнейшим развитием волоконно-оптических технологий вполне вероятно, что в будущем РВОД и OBR станут еще более распространенными, что приведет к повышению безопасности и надежности в широком спектре отраслей промышленности.

Метод 2D распределенного оптического волокна является многообещающим инструментом для оценки ширины трещины сдвига в бетонных конструкциях. Он обеспечивает непрерывный контроль ширины

трещины с течением времени, является неразрушающим и может использоваться для других целей структурного мониторинга.

Несмотря на некоторые ограничения этого метода, его преимущества делают его ценным инструментом для обеспечения безопасности и долговечности бетонных конструкций.

Обнаружение и локализация трещин при сдвиге с использованием РВОД и системы OBR показали отличную производительность.

Определение начала образования трещин в зависимости от уровня нагрузки в каждом испытании может быть произведено с хорошей точностью. Это позволило получить картину трещин при сдвиге с помощью системы OBR, которую можно было визуально сравнить с трещинами, полученными в ходе испытаний, причем корреляция также была превосходной.

Что касается результатов, полученных для ширины трещины, предложенного способа и наиболее традиционного метода, основанного на размещении розеток смещения, то он дал аналогичные результаты того же порядка величины, что подтверждает использование РВОД с предлагаемым методом OBR для определения средней ширины трещины при нормальных эксплуатационных нагрузках.

Расширение зоны, участвующей в измерении, с помощью розеток смещения делает возможным сравнение только по средней ширине трещины. Это один из основных недостатков стандартного метода измерения с помощью розеток, которого можно избежать с помощью РВОД, где ширина трещины может быть получена для каждой отдельной зоны сдвига.

Список использованных источников

1 **Fischer O., Thoma S., Crepaz S.** Distributed fiber optic sensing for crack detection in concrete structures //Civil Engineering Design. – 2019. – Т. 1. – №. 3-4. – pp. 97–105. doi/abs/10.1002/cend.201900008.

2 **Yan M. et al.** Strain transfer effect on measurements with distributed fiber optic sensors //Automation in Construction. – 2022. – Т. 139. – P. 104262. doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104262.

3 **Feng X. et al.** Theoretical and experimental investigations into crack detection with BOTDR-distributed fiber optic sensors //Journal of Engineering Mechanics. – 2013. – Т. 139. – №. 12. – pp. 1797–1807. doi/epdf/10.1061/%28ASCE%29EM.1943-7889.0000622.

4 **Henault J. M. et al.** Quantitative strain measurement and crack detection in RC structures using a truly distributed fiber optic sensing system //Construction and Building Materials. – 2012. – Т.37. – pp. 916–923. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.029.

5 **Tan X. et al.** Measurement and visualization of strains and cracks in CFRP post-tensioned fiber reinforced concrete beams using distributed fiber optic sensors //Automation in Construction. – 2021. – Т. 124. – P. 103604. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103604>.

6 **Monsberger C. M., Lienhart W.** Distributed fiber optic shape sensing of concrete structures //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 18. – P. 6098.. doi.org/10.3390/s21186098.

7 **Bai H. et al.** Experimental investigation on flexural behavior of steel-concrete composite floor slabs with distributed fiber optic sensors //Journal of Building Engineering. – 2022. – Т. 54. – P. 104668.. doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104668.

8 **Stoerzel J., Randl N., Strauss A.** Monitoring shear-induced degradation of reinforced and pre-tensioned concrete members //IABSE Conference: Structural Engineering: Providing Solutions to Global Challenges, Geneva, Switzerland, September 2015. – 2015. – pp. 1148–1157. DOI:10.2749/222137815818358394.

9 **Zakaria M. et al.** Experimental investigation on shear cracking behavior in reinforced concrete beams with shear reinforcement //Journal of Advanced Concrete Technology. – 2009. – Т. 7. – №. 1. – pp. 79–96. DOI:10.3151/jact.7.79.

10 **Wong L. et al.** Utilising hydraulic transient excitation for fatigue crack monitoring of a cast iron pipeline using optical distributed sensing //Structural Control and Health Monitoring. – 2018. – Т. 25. – №. 4. – P. e2141. [doi:10.1002/stc.2141](https://doi.org/10.1002/stc.2141).

11 **Yan M. et al.** Strain transfer effect on measurements with distributed fiber optic sensors //Automation in Construction. – 2022. – Т. 139. – P. 104262. doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104262.

12 **Tan X. et al.** Measurement and visualization of strains and cracks in CFRP post-tensioned fiber reinforced concrete beams using distributed fiber optic sensors //Automation in Construction. – 2021. – Т. 124. – P. 103604. doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103604.

13 **Becks H. et al.** Application of fiber optic measurement in textile-reinforced concrete testing //Structural Concrete. – 2022. – Т. 23. – №. 4. – P. 2600–2614. doi.org/10.1002/suco.202100252.

14 **Fischer O., Thoma S., Crepaz S.** Distributed fiber optic sensing for crack detection in concrete structures //Civil Engineering Design. – 2019. – Т. 1. – №. 3-4. – pp. 97–105. doi.org/10.3390/s21186098

15 **Bai H. et al.** Experimental investigation on flexural behavior of steel-concrete composite floor slabs with distributed fiber optic sensors //Journal of Building Engineering. – 2022. – Т. 54. – P. 104668. doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104668.

16 **Bogachkov I. V., Gorlov N. I.** Methods and Means of Ensuring Information Security in Fiber-Optic Communication Lines //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1791. – №. 1. – P. 012041. doi:10.1088/1742-6596/1791/1/012041.

17 **Serikov T. G. et al.** The analysis and modeling of efficiency of the developed telecommunication networks on the basis of IP PBX asterisk now //2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). – IEEE, 2016. – pp. 510–515.

***M. Zh.Musagazhinov¹, A. V.Yurchenko²,
A. P. Kislov³, A. S. Zvontsov⁴**

¹Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullina, Republic of Kazakhstan, Astana

²National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation, Tomsk

^{3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

DETERMINATION OF THE WIDTH OF THE SHEAR CRACK IN CONCRETE STRUCTURES USING DISTRIBUTED FIBER-OPTIC SENSORS.

This article presents research to show the capabilities of distributed fiber optic sensors (DFOS) in their application to monitor the structural condition of the shear characteristics of concrete structures. When monitoring the condition of the structure to obtain the characteristics of the crack during the shift of concrete elements: detection, localization and quantification of damage during the shift. In this article, the quantitative assessment is considered by proposing a method for obtaining the average width of the shear crack in concrete beams. The method is based on the data obtained by gluing the DFOS on a concrete surface. An example of DFOS and calculation of the definition of deformations is given.

Distributed fiber optic sensors are a type of sensor technology that uses optical fiber as a sensitive medium to detect and measure various physical parameters such as temperature, strain, and pressure. Backscattered Optical Reflectometer (OBR) is a widely used water survey method that provides high-resolution measurement over long distances.

The principle underlying DFOS is based on the fact that an optical fiber made of glass or plastic can transmit light over long distances with very little attenuation. The light passing through the fiber interacts with the environment, causing changes in its optical properties, such as the refractive index, which can be measured and correlated with physical parameters.

Keywords: *Shear crack width, fiber-optic sensors, optical backscattering reflectometer, brillouin optical time domain reflectometry, time division reflectometry.*

* М. Ж. Мусагажинов¹, А. В. Юрченко²,
А. П. Кислов³, А. С. Звонцов⁴

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Томск қ.

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

БЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНДАҒЫ БӨЛІНГЕН ҚЫСЫЛУ ЖАРЫҚШАҒЫНЫҢ ЕНІН ТАРТЫЛҒАН ТАЛШЫҚТЫ- ОПТИКАЛЫҚ ДАТЧИКТЕРДІҢ КӨМЕГІМЕН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. *Аталмыш мақалада бетон құрылымдарының ығысу сипаттамаларының құрылымдық денсаулығын бақылауға қолдануда бөлінген талшықты-оптикалық сенсорлардың (ТОС) мүмкіндіктерін көрсетуге арналған зерттеулер туралы мағлұмат беріледі. Конструкцияның жағдайын бақылау кезінде бетон элементтеріндегі ығысу сызатының сипаттамаларын алуында: ығысу зақымдануын анықтау, локализациялау және сандық бағалау. Бұл жұмыста бетон арқалықтарындағы орташа ығысу сызатының енін алу әдісін ұсыну арқылы сандық бағалау қарастырылады. Әдіс БТОС бетон бетіне желімдеу кезінде алынған деректерге негізделген. БТОС және деформацияны анықтаудың есебінің мысалы келтірілген.*

Бөлінген талшықты-оптикалық сенсорлар температура, деформация және қысым сияқты әртүрлі физикалық параметрлерді анықтау және өлшеу үшін оптикалық талшықты сезім орта ретінде пайдаланатын сенсор технологиясының бір түрі болып табылады. Оптикалық кері шашырау рефлексомері (ОКШР) ұзақ қашықтықтарда жоғары ажыратымдылықты өлшеуді қамтамасыз ететін кең таралған ОТС сұрау әдісі болып табылады.

БТОС принципі шыныдан немесе пластмассадан жасалған оптикалық талшық жарықты өте аз әлсіреумен ұзақ қашықтыққа өткізе алатындығына негізделген. Талшық арқылы өтетін жарық оның қоршаған ортасымен әрекеттеседі, мысалы, өшінетін және физикалық параметрлермен корреляцияланатын сыну көрсеткіші негізінде оның оптикалық қасиеттерінің өзгеруін тудырады.

Кілтті сөздер: Кесілген жарықшақ ені, талшықты-оптикалық сенсорлар, кері шашырау рефлекторы, бриллиеннің оптикалық рефлектометриясы, уақыт доменінің рефлектометриясы.

ҒТАМР 44.09.39

DOI

***Р. М. Мустафина, Г. О. Мусекенова**

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

*e-mail: mustafina_rm@mail.ru

**2020-2021 ЖЫЛДАРЫНДАҒЫ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЭЛЕКТР
ЭНЕРГИЯСЫМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ИНДИКАТОРЛАР
БЛОГЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ**

Энергетикалық Трилемма келесі көрсеткіштерді де қамтиды: энергияға әділ қол жеткізу және экологиялық тұрақтылық. Электр энергиясымен қамтамасыз ету блогы бойынша энергетикалық қауіпсіздікті талдамалық зерттеу индикативтік талдау әдісімен жүргізілді, бұл ретте ҚР Ұлттық экономика министрлігі Статистика комитетінің және басқа да мемлекеттік органдардың 2020 және 2021 жылдардағы ресми статистикалық деректері пайдаланылды. Электр энергетикалық қауіпсіздік индикаторларының жиынтық көрсеткіштері бойынша тек үш облыс қалыпты аймақта орналасқан; алдыңғы зерттеулер көрсеткендей, бұл жағдай көптеген жылдар бойы қайталанып келеді. Менишкіті электр энергиясы көздерінің үлесінің индикаторы бойынша 14 облыстың қалыпты аймақта 7 – і; қалыпты жағдайда электр энергиясын өндірудегі өңірдің үлесінің индикаторы бойынша – 7 өңір; адам саны энергиясын тұтыну индикаторы бойынша - 8. Алғашқы екі индикатор энергетикалық Трилемма индексінің бірінші компонентін бағалауға мүмкіндік береді; үшінші индикатор Трилемма индексінің екінші бағытын бағалауға қызмет етеді. Электр энергетикасы қауіпсіздігіне жүргізілген талдау мен есептеулер атом электр станциясын салу, жұмыс істеп тұрған электр станцияларын жаңғырту және реконструкциялау қажеттігін растайды. Табиғи газды, атом энергиясын қазбалы қатты отынның, баламалы және жаңартылатын энергия көздерінің орнына қолдану парниктік газдар шығарындыларын азайтуға мүмкіндік береді

Кілтті сөздер: энергетикалық қауіпсіздік, энергетикалық қауіпсіздіктің индикаторлары, менишкіті көздердің үлесі, электр энергиясын өндіру, энергетикалық трилемма.

Кіріспе

Дүниежүзілік энергетикалық кеңес 2010 жылдан бастап әлемдік энергетикалық Трилемма индексінің үш көрсеткіші бойынша мемлекеттің энергетикалық саясатының тиімділігіне объективті және тәуелсіз бағалау жүргізеді. Бұл көрсеткіштерге энергетикалық қауіпсіздік (ЭНҚ), энергияға

әділ қол жеткізу (ЭӘҚЖ), экологиялық тұрақтылық (ЭТ) жатады. Индекстің осы үш бағыты елдің энергетикалық саясатының тиімділігінің 32 көрсеткіші бойынша бағаланады [1].

Мақалада 2020 және 2021 жылдардағы статистикалық деректер негізінде [2, 2-б.; 3, 1-б.; 4, 4-б.] электр энергетикасы саласына бағалау ҚР энергетикалық қауіпсіздік бойынша жүргізілді. Энергияға әділ қол жеткізу, экологиялық тұрақтылық бағыттары бойынша аналитикалық талдау және есептеу нәтижелері мақалада келтірілген [5, 205-б.].

Материалдар мен әдістер

Ел экономикасының электр энергетикасы секторын дамытудың мемлекеттік саясатының басым міндеттерінің бірі энергетикалық қауіпсіздік пен тәуелсіздікті қамтамасыз ету болып табылады, бұл ҚР электр энергетикасы саласын дамытудың 2035 жылға дейінгі тұжырымдамасында атап өтілген [6, 3-б.].

Ел өңірлерінің электр энергиясымен қамтамасыз ету блогы бойынша электр энергетикасы қауіпсіздігінің жай күйін талдау кезінде 2020 және 2021 жылдардағы электр энергетикасы саласының жағдайлары бойынша келесі екі индикатор есептелді:

- электр энергиясының теңгеріміндегі өңірдің меншікті көздерінің үлесі (өңірде өндірілген электр энергиясының қарастырылып отырған жылы өңірде тұтынылған электр энергиясына қатынасы);
- елдегі өндірілген көлемге қатысты өңірдің электр энергиясын өндірудегі үлесі (ағымдағы жылы өңірде өндірілген электр энергиясының елдегі өндірілген энергияға қатынасы).

Екі индикаторлар да ЭНҚ жағдайын және электр энергиясымен қамтамасыз ету бойынша өңірлердің тәуелсіздігіне жеткілікті объективті баға алуға мүмкіндік береді. Электр энергетика ҚР бірыңғай электр энергетикалық жүйесі (БЭЖ) жағдайында жұмыс істейді. Елдің БЭЖ шартты түрде Солтүстік, Оңтүстік және Батыс үш аймаққа бөлінген, бұл ретте Батыстық өңірдің Солтүстіктік және Оңтүстіктік біріккен аймақтармен электр байланысы жоқ. БЭЖ ішінде электр энергиясының ағу мүмкіндігіне қарамастан, меншікті электр энергиясының болуы өңірлердің үлкен ЭНҚ қамтамасыз етеді.

ЭНҚ деңгейлерін талдау және есептеу индикативті талдау әдісімен жүзеге асырылады, бұл электр энергетикасы саласына кіретін үлкен техникалық-экономикалық жүйелердің жұмыс істеу міндеттерін тиімді шешуге үлкен мүмкіндіктер береді. Бұл күрделі жүйелер параметрлер мен қасиеттердің алуан түрлілігімен, ішкі және сыртқы байланыстардың тармақталуымен, көбінесе жағдайлар мен даму жағдайларының белгісіздігімен сипатталады [7, 34-б.].

Екінші индикаторды бағалау кезінде базалық жыл үшін алынған 1990 жылғы деректерге қатысты салыстырмалы шамалар есептелді. 1990 жылдан кейін ел нарықтық экономикаға көшуді бастады.

1-Кестеде электр энергиясының теңгеріміндегі өңірдің меншікті көздерінің үлесі (2 бағанда – 2020 жыл, 3 бағанда – 2021 жыл) және елдегі өндірілген көлемге қатысты өңірдің электр энергиясын өндірудегі үлесі индикаторларының (6 бағанда – 2020 жыл, 7 бағанда – 2021 жыл) есептеулерінің нәтижелері келтірілген. 4, 5, 8, 9 бағандарының деректері зерттелетін индикаторлардың жағдайын бағалауды қамтиды.

1-Кесте – Меншікті көздер үлесінің және өңірдің электр энергиясын өндірудегі үлесінің индикаторлары бойынша ЭНҚ деңгейін бағалау

Аумақтың атауы	Меншікті үлесі дереккөздер, %				Электр энергиясын өндірудегі өңірдің үлесі, %			
	2020 жыл	2021 жыл	Бағалау		2020 жыл	2021 жыл	Бағалау	
			20 жыл	21 жыл			20 жыл	21 жыл
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Қазақстан	100,52	100,77	Қ	Қ	-	-	-	-
Ақмола облысы	57,17	53,09	Д	Д	135,5	148,6	Қ	Қ
Ақтөбе облысы	58,28	53,32	ДЖ	Д	683,0	607,6	Қ	Қ
Алматы облысы	64,42	56,0	ДЖ	ДЖ	100,6	90,8	Қ	Д
Атырау облысы	99,29	105,17	Қ	Қ	433,3	453,3	Қ	Қ
ШҚО	104,40	99,84	Қ	Қ	103,1	94,6	Қ	ДЖ
Жамбыл облысы	46,50	51,03	Д	Д	21,6	25,7	ҚК	ҚК
БҚО	100,60	93,49	Қ	Қ	945,7	941,2	Қ	Қ
Қарағанды облысы	90,46	83,14	Қ	Қ	106,4	94,3	Қ	ПК
Қостанай облысы	23,10	20,53	ҚК	ҚК	128,6	111,7	Қ	Қ
Қызылорда облысы	29,67	32,17	ҚК	ҚК	91,4	105,1	К	Қ

Маңғыстау облысы	99,80	95,58	Қ	Қ	75,9	71,6	ҚҚ	ҚҚ
Павлодар облысы	207,21	228,55	Қ	Қ	93,9	102,7	Д	Қ
СҚО	203,83	162,65	Қ	Қ	103,7	81,0	Қ	ҚҚ
Түркістан облысы	28,50	29,9	ҚҚ	ҚҚ	82,9	91,5	ҚҚ	Д

Нәтижелер және талқылау

Электр энергиясының балансындағы меншікті көздер үлесінің индикаторы бойынша шекті мәндер (1 - Кесте, 2, 3, 4, 5 – бағандар) дағдарыс алдындағы жағдайы үшін (ДЖ) – 70-65 %, дағдарыс үшін (Д) – 55-45 %; 70 % - дан астам көрсеткіштер ЭнҚ қалыпты жай-күйін (Қ) айқындайды. Қарастырылып отырған индикатордың 45 % - дан төмен мәндері дағдарыс жағдайының (ҚҚ) қауіпті кезеңін көрсетеді [7, 36-б.].

Энергия балансындағы меншікті көздер үлесінің индикаторы бойынша дағдарыс алдындағы жағдайын аймағында талданған екі жыл ішінде Алматы облысы енді. Ақтөбе облысында 2021 жылғы жағдай 2020 жылғы көрсеткіштермен салыстырғанда нашарлады; дағдарыс алдындағы жағдайдан дағдарысқа көшу өңірде электр энергиясын өндіру 2021 жылы 4,3 % - ға төмендегенімен түсіндіріледі [4, 4-б.] өнеркәсіптік өндіріс индексі (ӨӨИ) 2,8 % - ға ұлғайған кезде [4, 5-б.].

Қостанай, Қызылорда және Түркістан облыстары талданып отырған екі жыл ішінде электр энергиясының теңгеріміндегі өз көздерінің үлесі бойынша қауіпті дағдарыс аймағында болды. Дағдарыс аймағында – Жамбыл облысы болды. Бұл аймақтардағы жағдай бірнеше жыл бойы сақталып келеді [8].

Осы индикатор бойынша қалыпты аймақта ҚР және жеті облыс тұрақты енді, ол өз ретінде (1-Кесте, 2, 3, 4, 5 – бағандар) келтірілген.

Елдегі өндірілген көлемге қатысты өңірдің электр энергиясын өндірудегі үлесінің көрсеткіші бойынша ЭнҚ қалыпты жағдайы (1990 жылғы базалық көлемге қатысты пайызбен) индикатордың көрсеткішімен 96 % - дан жоғары айқындалады; дағдарыс алдындағы -96-94 %, дағдарыстық – 92-90 %; индикатордың 90 % - дан төмен мәндері осы көрсеткіш бойынша ЭнҚ қауіпті дағдарыстық жағдайын көрсетеді.

1-Кестенің (6, 7, 8, 9 – бағандары) деректерін талдаудан өңірдің электр энергиясын өндірудегі үлесінің индикаторы бойынша қалыпты аймақта жеті өңір бар, бұл ретте Павлодар облысы 2020 жылы дағдарыс жағдайынан 2021 жылы қалыпты аймаққа өтті. Бұл индикатордың деңгейі 2021 жылы Алматыдп (Қ - дан Д - ға дейін – энергия өндірісінің 3 % - ға төмендеуі) және Шығыс Қазақстан (Д - дан ҚҚ - ге дейін – электр

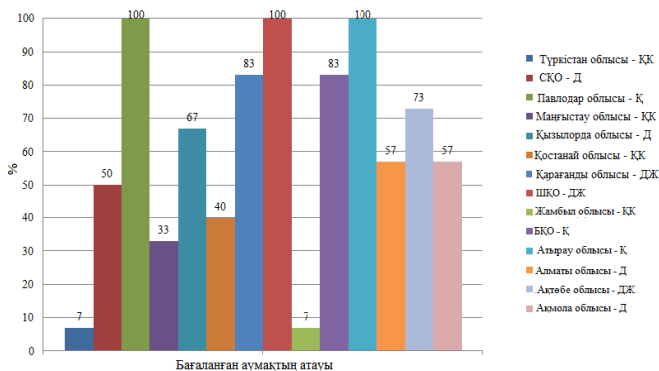
энергиясын өндірудің 1,3 % - ға төмендеуі) облыстарындағы 2020 жылдың осы кезеңімен салыстырғанда төмендеді [4, 4–5-бб.].

Солтүстік Қазақстан өңірінде осы индикатор бойынша көрсеткіш күрт нашарлады (Н-дан ҚК-ға дейін). 2021 жылы СҚО-да электр энергиясын өндіру 15,9 % - ға қысқарды, бұл ретте ӨӨИ өсімі 5,9 % - құрады [4, 4–5-бб.].

Қызылорда облысындағы қаралып отырған индикатор бойынша жағдайды қалыпқа келтіру ол – электр энергиясын өндіруді 20-шы жылдың деңгейінен төрттен бір бөлігіне (24,2 %) ұлғайтудың нәтижесінде, бұл ретте ӨӨИ өсімі тек 0,3 % құрады [4, 4–5-бб.].

Жамбыл, Маңғыстау және Түркістан облыстарында елімізде өндірілген көлемге қатысты өңірдің электр энергиясын өндірудегі үлесі индикаторының көрсеткіштері бойынша ЭНҚ жағдайы 2020 жылмен салыстырғанда осы өңірлерде электр энергиясын өндірудің ұлғаюына қарамастан, тиісінше ҚК аймақтарында және К аймақтарында болып отыр. Демек, өндірілген энергияның өсуі осы индикатор бойынша ЭНҚ қажетті деңгейін қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз, әсіресе ӨӨИ (Жамбыл облысы – 5,0 % - ға, Түркістан облысы – 2,2 % - ға) өсетіндіктен [4, 4–5-бб.]. 2018 жылы осы үш өңірде осы индикатордың көрсеткіштері де тәуекел аймағында болды [8, 247-б.].

2021 жылы электр энергетикалық қауіпсіздік блогының индикаторлары бойынша ЭНҚ жағдайының жиынтық бағасы индикаторлардың көрсеткіштерін ескеретін мынадай салмақ коэффициенттерін енгізген кезде орташа арифметикалық мән ретінде есептелген (1 - кесте): Қ – 1; ДЖ – 0,5; Д-0,2; ҚК-0 (1 - сурет).



1-сурет – 2021 жылғы ЭНҚ жағдайын жиынтық бағалау

Бұл ретте 100 % – есептелген индикаторлар бойынша ЭНҚ қалыпты (К) жағдай; 70 – 99 % – дағдарыс алдындағы көрсеткіш (ДК); 50 – 69 % – ЭНҚ дағдарыс аймағы (Д); 50 % - дан төмен индикаторлардың мәндері қауіпті дағдарыс жағдайының (ДЖ) жолағын айқындайды.

Қорытындылар

1-суреттегі деректерден ЭНҚ индикаторларының көрсеткіштері бойынша тек үш аймақ қалыпты аймақта екендігін көрсетеді; алдыңғы зерттеулер көрсеткендей, бұл жағдай бірнеше жыл ішінде іс жүзінде қайталанатын [7, 36-б.; 8, 249-б.]. Сондықтан ел экономикасын дамыту үшін стратегиялық өзекті және маңызды мәселе жаңаларын уақтылы енгізу, жұмыс істеп тұрған электр станциялары мен электр желілерін қайта құру және жаңғырту болып табылады [6, 3-б.].

Дүниежүзілік энергетикалық кеңес жыл сайын өткізетін ҚР энергетикалық саясатын бағалау рейтингтерінің нәтижелері ҚР Электр энергетикасы саласын дамытудың 2035 жылға дейінгі тұжырымдамасын іске асыру шеңберінде жүзеге асырылатын іс-шаралардың тиімділігін растайды. Егер 2019 жылдың қорытындысы бойынша Қазақстан осы рейтингке қатысқан әлемнің 125 елі арасында 59-шы орынды иеленсе, 2020 жылы – 42 - ші орынды иеленді [9, 3-б.].

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1 Материалы XIV Евразийского форума KazEnergy [Электронный ресурс]. <https://eenergy.media/2021/10/07/balans-komponentov-navigatsiya-izmenenij-po-energeticheskim-regionam/>

2 Население Казахстана выросло в 2020 году [Электронный ресурс]. <https://kz.kursiv.media/2020-04-06/naselenie-kazakhstan-vyroslo-v-2020-godu/>

3 Названа численность населения Казахстана [Электронный ресурс]. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/nazvana-chislennost-naseleniya-kazahstana-439420/

4 Отчет «Анализ рынка электроэнергии и угля Казахстана. Январь-октябрь 2021 года». Департамент «Развитие рынка». Ноябрь, 2021 г., с. 4; с. 5. [Электронный ресурс]. – <https://www.samruk-energy.kz/ru/press-center/analytical-review#2021>.

5 Мустафина, Р. М., Мусекенова, Г. О., Уразалимова, Д. С. 2020-2021 жылдарындағы энергетикалық трилемманың талаптарын қазақстанда орындауы / Р. М. Мустафина, Г. О. Мусекенова, Д. С. Уразалимова // Вестник Торайгыров Университета. Серия энергетическая. – № 2. – 2023. С. 204-209.

6 Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года от 26 сентября 2022 года. (Министерство

энергетики РК) – 71 с. [Электронный ресурс]. 2185d071a18197ff496dd0d00eba4866_original.379086

7 **Мустафина, Р. М., Мустафина, Г. М., Танат, А. Х.** Исследование электроэнергетической безопасности регионов Казахстана методом индикативного анализа. / Р. М. Мустафина, Г. М. Мустафина, А. Х. Танат // Вестник ПГУ. Серия энергетическая. № 2. 2008. С. 33-47.

8 **Мустафина, Р. М., Сарсикеев, Е. Ж., Мусекенова, Г. О.** Қазақстан өңірлерінің 2018 жылдағы электр энергетикалық қауіпсіздігінің жағдайы / Р. М. Мустафина, Е. Ж. Сарсикеев, Г. О. Мусекенова // Вестник Торайғыров Университета. Серия энергетическая. – № 3. – 2020. С. 247-256.

9 Парижское соглашение [Электронный ресурс]. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf

10 Intellectual energy security monitoring of decentralized systems of electricity with renewable energy sources. E3S Web of Conferences Green Energy and Smart Grids (GESG 2018), volume 69 (2018), [02002]. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186902002>

References

1 Materialy` XIV Evrazijskogo foruma KazEnergy [Materials of the XIV Eurasian KazEnergy Forum] [Electronic resource]. <https://eenergy.media/2021/10/07/balans-komponentov-navigatsiya-izmenenij-po-energeticheskim-regionam/>.

2 Naselenie Kazaxstana vy`roslo v 2020 godu [Electronic resource]. <https://kz.kursiv.media/2020-04-06/naselenie-kazakhstan-vyroslo-v-2020-godu/>.

3 Nazvana chislennost` naseleniya Kazaxstana [Electronic resource]. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/nazvana-chislennost-naseleniya-kazakhstan-439420/.

4 Otchet «Analiz ry`nka e`lektroe`nergii i uglya Kazaxstana. Yanvar`-oktyabr` 2021 goda», [The report «Analysis of the electricity and coal market in Kazakhstan. January-October 2021»] [Electronic resource]. The Department of "Market Development". November, 2021, p. 4; p. 5. [Electronic resource]. – <https://www.samruk-energy.kz/ru/press-center/analytical-review#2021>.

5 **Mustafina R. M., Musekenova G. O., Urazalimova D. S.** 2020-2021 zhy`ldary`ndary` e`nergetikalық trilemmanың talaptary`n kazaxstanda orы`ndaluy` [Implementation of the requirements of the energy trilemma for

2020-2021 in Kazakhstan] / R. M. Mustafina, G. O. Mussekenova, D. S. Urazalimova // Bulletin of the Toraighyrov University. The series is energetic. – No. 2. – 2023. pp. 204–209.

6 Konceptsiya razvitiya e`ktroe`nergeticheskoy otrasli Respubliki Kazaxstan do 2035 goda ot 26 sentyabrya 2022 goda. (Ministerstvo e`nergetiki RK) [Concept for the development of the electric power industry of the Republic of Kazakhstan until 2035 dated September 26, 2022. (Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan)] – 71 p. [Electronic resource]. 2185d071a18197ff496dd0d00eba4866_original.379086.

7 **Mustafina R. M., Mustafina G. M., Tanat A. X.** Issledovanie e`ktroe`nergeticheskoy bezopasnosti regionov Kazaxstana metodom indikativnogo analiza. [Study of electric power security of the regions of Kazakhstan using the method of indicative analysis.] / R. M. Mustafina, G. M. Mustafina, A. Kh. Tanat // Bulletin of PSU. Energy series. No. 2. 2008. pp. 33–47.

8 **Mustafina R. M., Sarsikeev E. Zh. , Musekenova G. O.** Kazakhstan onirlinin 2018 zhyldagi elektr energetikalyk kauipsizdiginin zhagdayy [The state of electric power security of the regions of Kazakhstan in 2018] / R. M. Mustafina, E. J. Sarsikeev, G. O. Musekenova // Bulletin of the Toraighyrov University. The series is energetic. – No. 3. – 2020. pp. 247–256.

9 Parizhskoe soglasenie [The Paris Agreement] [Electronic resource]. [https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian .pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian.pdf).

10 Intellectual energy security monitoring of decentralized systems of electricity with renewable energy sources. E3S Web of Conferences Green Energy and Smart Grids (GESG 2018), volume 69 (2018), [02002]. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186902002>.

Р. М. Мустафина*, Г. О. Мусекенова

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИНДИКАТОРОВ БЛОКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В КАЗАХСТАНЕ В 2020-2021 ГОДАХ

В статье приведены результаты аналитического расчета состояния электроэнергетической безопасности областей РК по особенно важному направлению из трех ключевых составляющих Индекса Энергетической Трилеммы Всемирного энергетического совета, а именно, по энергетической безопасности. Энергетическая Трилемма включает также следующие индикаторы: справедливый доступ к энергии и экологическую устойчивость. Аналитическое исследование

энергетической безопасности по блоку обеспеченности электрической энергией проводилось методом индикативного анализа, при этом использовались официальные статистические данные Комитета статистики Министерства национальной экономики РК и других государственных органов за 2020 и 2021 годы. Только три области по суммарным показателям индикаторов электроэнергетической безопасности находятся в нормальной зоне; как показывают и предыдущие исследования эта ситуация практически повторяется в течение многих лет. По индикатору доли собственных источников электрической энергии в нормальной зоне находятся 7 областей из 14; по индикатору доли региона в выработке электроэнергии в нормальной ситуации – 7 регионов; по индикатору душевого потребления энергии – 8. Первые два индикатора позволяют оценить первую составляющую Индекса Энергетической Трилеммы; третий индикатор служит для оценки второго направления Индекса Трилеммы. Проведенные анализ и расчеты электроэнергетической безопасности подтверждают необходимость строительства атомной электростанции, модернизацию и реконструкцию действующих электрических станций. Применение природного газа, атомной энергии вместо ископаемого твердого топлива, альтернативных и возобновляемых источников энергии позволит сократить выброс парниковых газов в атмосферу.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, индикаторы энергетической безопасности, доля собственных источников, производство электроэнергии, энергетическая трилемма.

R. M. Mustafina*, G. O. Mussekenova
Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

ASSESSMENT OF THE STATUS OF INDICATORS OF THE ELECTRICITY SUPPLY UNIT IN KAZAKHSTAN IN 2020-2021

The article presents the results of an analytical calculation of the state of electric power security of the regions of the Republic of Kazakhstan in a particularly important area of the three key components of the Energy Trilemma Index of the World Energy Council, namely, energy security. The Energy Trilemma also includes the following indicators: equitable access to energy and environmental sustainability. The analytical study of energy security in the block of electric energy supply was conducted by the method of indicative analysis, using official statistical data from the Statistics Committee of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan and other government agencies for 2020 and 2021. According to the total indicators of electric power safety,

only three regions are in the normal zone; as previous studies show, this situation has been practically repeated for many years. According to the indicator of the share of own sources of electric energy in the normal zone, there are 7 regions out of 14; according to the indicator of the share of the region in electricity generation in a normal situation – 7 regions; according to the indicator of per capita energy consumption – 8. The first two indicators allow you to evaluate the first component of the Energy Trilemma Index; the third indicator serves to assess the second direction of the Trilemma Index. The analysis and calculations of electric power safety confirm the need for the construction of a nuclear power plant, modernization and reconstruction of existing power plants. The use of natural gas, nuclear energy instead of fossil solid fuels, alternative and renewable energy sources will reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere.

Keywords: energy security, energy security indicators, share of own sources, electricity generation, energy trilemma.

GTAMP 44.39.29

DOI

xxxxxxxxxxxxxxxxxx

***Г. С. Нұрмағанбетова¹, В. В. Каверин², С. С. Исенов¹,
Ф. Ф. Таткеева, Г. А. Эм²**

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

*e-mail: g_sahitovna@mail.ru

БОЛАШАҚТА ҚАЗАҚСТАНДА ЖЕЛ ГЕНЕРАТОРЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ

*Мақалада Қазақстан Республикасында және алыс шетелдерде жасыл энергетиканы дамытудың басым бағыттарына талдау жасалды. Қазақстан Республикасындағы үкіметтік құжаттарға сәйкес күн және жел энергетикасы перспективалы бағыттар болып табылады. Еліміздің Жел энергетикалық әлеуеті жылына 920 млрд. кВт*сағ. бағаланады. Қазақстан Республикасында жасыл энергетиканы дамытудың өзектілігі негізделген. Заманауи, жақсы қалыптасқан жел генераторларына талдау жасалды. Жел генераторлары үшін ең перспективалы болып табылатын, ол турбинаның көлденең және тік айналу осі бар құрылымдары. Көлденең айналу осі бар жел генераторлары Қазақстанда сәтті пайдаланылуда. Турбинаның көлденең және тік айналу осі бар жел генераторлық қондырғылардың әр түрлі конструкцияларының және географиялық орналасуының пайдалану ерекшеліктеріне талдау жасалды. Эксперименттік зерттеулер кезеңінде жел генераторларының техникалық шешімдерінің перспективалық нұсқалары қарастырылды. Жел генераторлық қондырғылардың электр қуатын іріктеуді басқару жүйелерінің схематикалық шешімдерінің нұсқалары қарастырылған. Тұрақты ток генераторларын қуаты 10 кВт - қа дейінгі қондырғыларда пайдалану ұсынылады. Қуатты қондырғыларда асинхронды генераторларды немесе қос қуат генераторларын пайдалану ұсынылады. Қуатты генераторлар үшін қуаттылығы 8 МВт-қа дейінгі инверторлар жаппай шығарылады, олар автономды және желімен басқарылатын режимдерді қамтамасыз етеді.*

Кілтті сөздер: жел генераторы, электр энергиясы, қорғау, жел, электр станциясы.

Кіріспе

Қазіргі уақытта дамыған мемлекеттердің көпшілігінде энергетиканы дамытудың басым бағыттарына мыналар жатады: күн, жел, гидро және биоэнергетика. Жылу электр генераторларына қатысты жаңартылатын энергия көздерімен өндіретін энергияның салыстырмалы құны жоғары болғанына қарамастан, бірқатар Еуропа мемлекеттерінде жаңартылатын энергия көздері арқылы энергияны өндірудің өсуі басым болып келеді. Жаңартылатын энергетиканың жоғарыда аталған бағыттарының ішінде жел энергетикасы ең үлкен энергетикалық потенциалға ие. «2024 жылға дейін орнықты даму мақсатында Қазақстан Республикасының энергиясын және жаңартылатын ресурстарын тиімді пайдалану стратегиясы туралы» ҚР Президентінің Жарлығына және Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 – 2029 жылдарға арналған электр энергетикасы саласын дамыту тұжырымдамасын бекіту туралы қаулысына сәйкес күн және жел энергетикасы құрылғыларының сенімділігін арттыруды қамтамасыз ететін техникалық шешімдер кешенін әзірлеу мәселелерін шешу маңызды болып табылады [1].

Жақын және алыс шет мемлекеттерде жел турбиналары арқылы электр энергиясын өндіру үрдісі өсіп келеді. Жел турбиналарының сенімділігіне климаттық факторлар (ауа массаларының жылдамдығы мен қозғалыс динамикасы, найзағай разрядтарының қарқындылығы), сондай-ақ электрді беру, энергия бөлу және жүктеме жүйелеріндегі бұзушы факторлар айтарлықтай әсер етеді.

Қазақстандағы климат жел электр станцияларын салу үшін қолайлы, өйткені желдің жылдамдығы 5 м/с-тан асатын тұрақты жел дәліздерінің болуы, бұл жел турбиналарының тұрақты жұмысы мен өзін-өзі ақтауы үшін қажет. Каспий өңірі, Орталық және Солтүстік Қазақстан, сондай-ақ оңтүстік және Оңтүстік-Шығыс Қазақстан жел энергиясының ең жоғары әлеуетіне ие. Қазақстанның Индустрия және жаңа технологиялар Министрлігінің деректері бойынша елдің жел энергетикалық әлеуеті жыл сайын 920 млрд. кВт*сағ электр энергиясына бағаланады. Сонымен қатар, «Қазақстан - жел энергетикасы нарығын дамыту бастамасы» жобасының нәтижелері желдің орташа жылдамдығы 5-6 м/с екенін көрсетті, ол жел электр станцияларының жобаларын табысты іске асыру үшін қолайлы және де барлық елдерде бар [2].

Сонымен қатар, осы жоба аясында еліміздің жел атласы әзірленді, онда 0,929-дан 1,82 млрд кВт*сағ дейін электр энергиясын өндіруде пайдалануға болатын желдің жылдамдығы жоғары орындар көрсетілген.

Қазақстанда пайдалану мен құрылыста бірнеше жел электр станциялары бар. Бірінші жел электр станциясы, Қордай ЖЭС 2011 жылы Жамбыл облысында 1500 кВт энергетикалық қуатымен пайдалануға берілді. Қазақстанның Астанасынан үш шақырым жерде Ақмола облысында орналасқан, Ерейментауда жаңа жел электр станциясының

құрылысы 2013 жылы басталды. 2020 жылдың басында Италиялық Елі энергетикалық компаниясы Қазақстанның солтүстік-батыс бөлігінде орналасқан қуаты 48 МВт Бадамша жел электр станциясын іске қосты. ЖЭС көмірқышқыл газының (CO₂) шығарындыларын көмір электр станцияларымен жылына 172 мың тоннаға азайтып, аймақты шамамен 198 ГВт*сағ электр энергиясымен қамтамасыз етеді деп күтіліп отыр.

Сонымен қатар, еліміздің оңтүстігінде жақында Жанатас ЖЭС іске қосылды. Жел электр станциясы 100 МВт энергия өндіреді, бұл көмір электр станцияларының жыл сайынғы CO₂ шығындарын 262 мың тоннаға азайтуға мүмкіндік береді [3].

Жалпы, ауқымды жел электр станцияларын Қазақстан Республикасы Индустрия және жаңа технологиялар Министрлігі таңдаған он алаңда салу жоспарлануда. Жел энергетикасы ресурстары тұрғысынан анағұрлым перспективалы учаскелердің бірі Жоңғар дәлізі болып табылады, қуаттылығы 17 млрд кВт*сағ құрайды. Ікестеде электр энергетикасын дамытудың 2030 жылға дейінгі бағдарламасына сәйкес қолда бар метеорологиялық деректер негізінде жел электр станцияларын салуға арналған әлеуетті алаңдар көрсетілген.

1 кесте - Жел электр станцияларын салуға арналған әлеуетті алаңдар [2; 4]

Әлеуетті алаңдар	Қуат, МВт
Жоңғар ЖЭС	40
Шелек ЖЭС	140
Сарыөзек ЖЭС	140
Алакөл ЖЭС	140
Корей ЖЭС	20
Шеңгелді ЖЭС	20
Қордай ЖЭС	20

Жел энергиясын түрлендірудің инновациялық құрылғыларын әзірлеу барысында энергетикалық кешендердің сенімділігі мен ресурстарын арттыру мақсатында қазіргі заманғы, жақсы қалыптасқан жел генераторларына, сондай-ақ қазіргі уақытта пилоттық жоба сатысында тұрған перспективалық конструкторлық әзірлемелерге талдау жасау қажет.

Материалдар мен әдістер

Жел генераторының негізгі энергетикалық сипаттамаларына электромеханикалық түрлендіргішке жүктеме беретін, шу мен төмен жиілікті тербелістердің параметрлерімен, сондай-ақ жел энергиясының белсенді энергияға қатынасымен сипатталатын жел энергиясын пайдалану коэффициенті жатады. Қазіргі заманғы жел энергиясын механикалық энергияға түрлендірудің ішінде турбинаның көлденең және тік айналу осі бар конструкциялар кең таралған. Жел генераторларының механикалық бөлігін техникалық іске асырудың келесі нұсқалары кеңінен қолданылды. Ең көп таралған жел генераторларының механикалық бөлігін техникалық іске асырудың нұсқалары 1 суретте келтірілген.



1 сурет – Жел генераторларының механикалық бөлігінің техникалық іске асыру нұсқалары

1а суретте қуаты 14 МВт дейінгі турбинасы бар Siemens Gamesa (Германия) компаниясының көлденең айналу осі бар жел генераторының сыртқы түрі көрсетілген. Сондай-ақ, Vestas Wind Systems A/S (Дания) компаниясы жел генераторларының ұқсас конструкциясының сериялық өндірісімен жұмыс жасайды [5,6].

Жел генераторларының бұл түрлері Қазақстанда Қордай ЖЭС-да және Ақмола облысында Ерейментау қаласының маңында ЖЭС-да сәтті пайдаланылуда.

Көлденең типтегі жел генераторларының пайдалану ерекшеліктеріне жиіліктердің кең спектрі бар жоғары дірілдер жатады. Бұл тербелістер жел генераторы мұнарасының іргетасының айналасына да, жел турбиналарының қоршаған ауа кеңістігіне де теріс әсер етеді. Турбинаның көлденең айналу осі бар жел генераторларының кемшіліктеріне ЖЭС

қоршаған кеңістігіндегі фаунаға төмен жиілікті тербелістердің теріс әсері де жатқызылуы керек.

16 суретте SeaTwirl (Норвегия) компаниясының қалқымалы типті S2 моделінің қуаты 1 МВт тік айналу осі бар жаппай шығарылатын жел генераторының сыртқы түрі көрсетілген. Болашақта жел генераторларының қуатын 30 МВт-қа дейін арттыру көзделіп отыр [7].

Қазақстанда турбинаның айналу осі тік орналасқан қалқымалы үлгідегі ЖЭС-тің перспективалы орналасу орындарының бірі Каспий теңізінің жағалау сулары болуы мүмкін. Каспий теңізінде желдің жылдамдығы 6-20 м/с шегінде, бұл Орталық Қазақстандағы желдің жылдамдығымен салыстырғанда біршама жоғары (4-6 м/с).

Тік айналу осі бар жел генераторлары Норвегиядағы Бокн муниципалитетінің жанындағы теңізде орналасқан. Жел турбинасының негізгі дизайны және барлық маңызды түйіндер теңіз деңгейінде орналасқан. Якорьмен бекітілген қалқымалы типті жел генераторының дизайны қарастырылған. Жел генераторын пайдалану процесінде 2012 жылдан бастап дірілдің өте төмен деңгейі, сондай-ақ жел турбинасының көлденең орналасқан айналу осі бар жел генераторларының биік мұнарасымен анықталған резонанстық құбылыстардың болмауы анықталған.

Көлденең айналу осі бар заманауи жел генераторлары үшін желді пайдалану коэффициенті 0,4, ал тік айналу осі бар жел генераторлары үшін 0,38 құрайды. Коэффициенттердің ұсынылған мәндері жел турбиналарының заманауи дизайнына және жылу шығынын азайтуға ықпал ететін жаңа, тиімдірек материалдар мен техникалық шешімдерді қолдануға сәйкес келеді. Айта кету керек, су бетінде орналасқан тік айналу осі бар, тербелістердің қоршаған кеңістіктің фаунасына әсері құрлықта орналасқан турбинаның көлденең айналу осі бар ЖЭС-қа қарағанда әлдеқайда төмен [8].

Жел электр станцияларының перспективалық әзірлемелерінің пилоттық жобалары

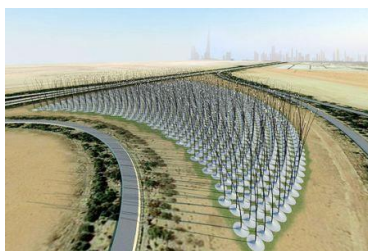
Ғылыми-зерттеу жұмыстары мен эксперименттік зерттеулер кезеңінде жел электр станцияларының төмендегідей перспективалық жобалары тұр:

- діріл түріндегі жел генераторы. Бір мысал - Atelier DNA компаниясының Windstalk жобасы. Бұл жоба Біріккен Араб Әміраттарында, Маджар қаласында жүзеге асырылуда. Жел генераторы бетон негіздері бар көміртекті талшық өзегінен тұрады. Әрбір штангада

электр тогын шығаратын пьезоэлектрлік материалдан жасалған электродтар мен керамикалық дискілердің қабаттары болады [9];

- аэростат типті жел генераторының нұсқасы. Altaeros (mit) компаниясының мамандары жел генераторын – "Buoyant Air Turbine" әзірледі. Ұсынылған техникалық шешім генератордың 300 метр биіктікке көтерілуін қамтамасыз етеді. Бұл биіктікте желдің күші жер бетіне жақын дінгекте орналасқан жел генераторының қалыпты шешімінен 5 есе жоғары [10].

2 суретте жел генераторларының перспективалық әзірлемелерінің сыртқы түрі көрсетілген: а) діріл және б) аэростат типті.



а)



б)

2 сурет - Жел генераторларының техникалық шешімдерінің нұсқалары

Жел электр станцияларының қуатын іріктеуді басқару жүйелері

Жел электр станцияларының қуат талдау, жел генераторларының электр қуатын іріктеудің барлық схемалық шешімдерін екі түрге бөлуге болатындығын анықтады: автономды жұмыс режимі және желілік жұмыс режимі. Желден тыс жұмыс режимінде жел генераторы электр энергиясының сыртқы көзінсіз өздігінен электр энергиясын өндіреді. Желілік жұмыс режимін техникалық іске асыру жел генераторының қондырғысын айнымалы кернеу көзіне, әдетте үш фазалы желіге қосу қажеттілігін білдіреді.

Қазіргі уақытта жел генераторларында электромеханикалық түрлендіргіштер ретінде қос электрмен жабдықтау машиналары, асинхронды генераторлар және тұрақты ток машиналары кеңінен қолданылады. Тұрақты токтың электромеханикалық түрлендіргіштерін автономды типтегі және қуаты 10 кВт-қа дейінгі жел генераторлық қондырғыларда пайдалану ұсынылады. Жел генераторларының бұл түрінің артықшылығы - аккумуляторлық энергия жинақтағыштармен бірлесіп жұмыс істеу мүмкіндігі болып табылады. Энергия блогының қарапайым

схемалық шешімі оған қызмет көрсету үшін жоғары білікті мамандарды қажет етпейді. Кемшіліктерге айнымалы ток генераторларымен салыстырғанда қуат бірлігіне шаққандағы төменгі массалық көрсеткіштер және тұрақты ток машинасы бар жел генераторларының жұмыс сенімділігін төмендететін коллекторлық-щеткалы қондырғының болуы, әдетте, автономды режимде қолданылады. Жел генераторлық қондырғылардың бұл түрін ауылдық жерлерде стационарлық немесе мобильді желілік қосалқы станциялардан алыс аудандарда пайдалану ұсынылады [11; 12].

Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генераторлар жоғары қуатты жел генераторлық қондырғыларда қолданылады. Генераторлардың осы түрін пайдаланудың ерекшелігі - қоздыру жүйесінің қажеттілігі болып саналады. Іс жүзінде қозудың екі түрі қолданылады – конденсатор және желіге энергияны қалпына келтіру режиміне ауысатын жиілік түрлендіргіші арқылы. Конденсаторлық қоздыру схемасы бойынша қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды генераторларды пайдалану ерекшелігі желдің жылдамдығына және сәйкесінше генератор білігінің айналу жылдамдығына байланысты болады. Бұл жағдайда жиілік түрлендіргіші арқылы қоздыру схемасы жақсы сипаттамаларға ие. Мұндай қоздыру тізбегін пайдалану генератор білігінің бұрыштық жылдамдығының кең ауқымында қуат алуды басқаруды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Жиілік түрлендіргіші арқылы конденсатордың қозуы мен асинхронды генераторлардың режимдері тек желілік қосылымы бар опция үшін тұрақты өнімділікті қамтамасыз етеді [13].

Қос қуат генераторының жоғары энергетикалық сипаттамалары. Бұл техникалық шешім синхронды электромеханикалық түрлендіргішті асинхронды режимге ауыстыру арқылы жүзеге асырылады. Қоздыру тоғын өзгерту арқылы статор қысқыштарындағы кернеуді басқаруды жүзеге асырады [13].

Қазіргі уақытта жел генераторларын шығаратын жетекші Еуропалық фирмалар Siemens Gamesa және АBB және де қуаты 5 МВт-қа дейінгі қуат алу жүйелері қысқа тұйықталған роторлы асинхронды типті генераторлармен және қосарланған қуат машиналарымен техникалық іске асыруға бағытталған. Жел генераторларына бейімделген энергияны түрлендіруге және жинақтауға арналған жабдықты АBB компаниясы шығарады. Фирма тұрақты немесе өзгермелі жиіліктегі айнымалы ток генераторларын, сондай-ақ 1,5÷5 МВт жел турбинасы үшін қос энергиямен жабдықтауды жаппай шығарады. Фирма сонымен қатар қорғаныс жүйесі бар жиілік түрлендіргіштерін шығарады [14].

Нәтижелер және талқылау

Жел генераторлық қондырғылар үшін қорғаныс кешеніне қойылатын техникалық талаптарды эзірлеу мақсатында жел генераторлық

қондырғылардағы және электр қуатын алу жүйелеріндегі авариялық жағдайларға талдау жасалды.

Жел генераторынан энергия тұтынушыға энергияны тасымалдау жүйелерінде әр түрлі типтегі қысқа тұйықталу жағдайлары ең жоғары шығындар болып табылады, бұл электромеханикалық түрлендіргіштер мен жартылай өткізгішті автономды энергия көздерінің қуатын алуды басқару жүйелерінің істен шығуына әкеледі. MATLAB қолданбалы бағдарламалар пакетін қолдана отырып, теориялық зерттеулер арқылы қысқа тұйықталу токтарының динамикалық сипаттамаларына талдау жасалды [15].

Электрмен жабдықтау жүйелеріндегі қысқа тұйықталу салдарын азайту мақсатында тізбек учаскесіндегі зақымдануды жедел анықтау және зақымданбаған тізбектен лезде ажырату талап етіледі. Жұмыста асинхронды қозғалтқыштың статор орамаларының температурасын бақылаушы ұсынылады. Айта кету керек, жұмыста автономды энергия көздерінің қуатын алу кезіндегі жартылай өткізгіш жүйелерінің қысқа тұйықталу жағдайындағы электрмен жабдықтау жүйелерінің өтпелі процестерінің әсері туралы ақпарат жоқ. Сонымен қатар, қолданыстағы ЖЭС-ті пайдалану тәжірибесі жел жылдамдығының рұқсат етілген ең жоғары мәндерінен асқан кезде жел генератор қондырғысының механикалық берілу элементтерін авариядан қорғау қажеттілігін көрсетті [16].

Сонымен, жел генераторлар қондырғылары үшін біріктірілген қорғаныс жүйесін зерттеу мен дамытудың маңыздылығы үшін келесі қорғаныс түрлері қамтамасыз етілуі керек: асинхронды генератордың шамадан тыс жүктелуінен, статор орамаларының температурасын бақылаушысын пайдалана отырып; желіге энергияны қалпына келтіру режимінде күшпен басқарылатын жартылай өткізгіштік түрлендіргіш; желдің жылдамдығы рұқсат етілген ең жоғары мәннен асып кеткен жағдайда жел генераторының механикалық берілу элементтері.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Ғылыми жұмысты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, ЖТН №АР19677354 «Жел электр станцияларының асинхронды генераторларын жанама жылудан қорғау жүйелерін әзірлеу» жобасы шеңберінде орындалды.

Қорытынды

Мақалада Қазақстанда жел энергетикасы қондырғыларын пайдаланудың өзектілігі негізделген. Алыс шет елдердің жетекші

кәсіпорындары жаппай өндіретін жел генераторларын техникалық іске асырудың нұсқалары, олардың техникалық сипаттамалары, пайдаланудың өзіндік ерекшеліктері қарастырылды. Жел генераторлық қондырғыларда және электр беру жүйелерінде туындайтын авариялық жағдайларға талдау жасалды. Электромеханикалық түрлендіргіштердің техникалық шешімдеріне талдау жасалды.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде келесілер анықталды:

1) көлденең айналу осі бар турбинада желді пайдалану коэффициенті 0,4, ал тік айналу осі бар жел генераторлары үшін 0,38 құрайды;

2) перспективалық әзірлемелерге дірілді және аэростатты типті жел генераторлары кіруі мүмкін;

3) электр энергиясының қуатын іріктеудің қолданыстағы сұлбатехникалық шешімдерінен ең жақсы энергетикалық сипаттамаларына ие, ол қос қуатты машиналар;

4) ЖЭС-ті тиімді және қауіпсіз пайдалану үшін жел генераторларын генератордың авариялық шамадан тыс жүктемелерінен қорғауды қамтамасыз ету қажет және механикалық бөліктің элементтерін жел жылдамдығының рұқсат етілген ең жоғары мәндерінен асып кетуінен бақылау керек.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Указ Президента Республики Казахстан. О Стратегии эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года : утв. 24 января 2008 года, № 60.

2 **Антонов, О. Б.** Зеленая энергетика Казахстана в 21 веке: мифы, реальность и перспективы. [Электронный ресурс] – https://coollib.com/b.usr/Oleg_Borisovich_Antonov_Zelenaya_energetika_Kazakhstan_v_21_veke_mifyi_realnost_i_perspektivyi.pdf

3 При помощи Китая в Казахстане запущена одна из крупнейших ветряных электростанций в Центральной Азии. [Электронный ресурс] - https://www.inform.kz/en/ebird-aiib-icbc-and-gcf-provide-us-95-3-million-for-wind-farm-in-kazakhstan_a3710920.

4 **Ахметкалиева, С.** Энергетика и возобновляемые источники энергии в Казахстане. Региональный экологический центр Центральной Азии. [Электронный ресурс] - <https://www.eurasian-research.org/publication/a-promising-green-energy-resource-in-kazakhstan-solar-power/?lang=ru>.

5 **Сидорович, В.** Крупнейшая в мире ветряная турбина 14 МВт от Siemens Gamesa быстро нашла заказчиков. [Электронный ресурс] -

<https://renen.ru/krupnejshaya-v-mire-vetrvanaya-turbina-14-mvt-ot-siemens-gamesa-bystro-nashla-zakazchikov/>.

6 Vestas Wind Systems A/S. [Электронный ресурс] - <https://b2b-postavki.ru/predstavitel/vestas-wind-systems-as.html/>.

7 **Мартыненко, А.** Новости науки и техники и технологии. У берегов Норвегии появится первый вертикальный ветрогенератор мощностью 1 МВт. [Электронный ресурс] - <https://www.techcult.ru/technology/11268-vertikalnyj-vetrogenerator>.

8 Эффективность КПД ветрогенератора: способы увеличения, конструкция и рабочие характеристики ветряка. [Электронный ресурс] - <https://energo.house/veter/kpd-vetrogeneratora.html>

9 **Повный, А.** Пять необычных конструкций ветрогенераторов [Электронный ресурс] - <https://elektrik.info/main/news/915-5-neobychnyh-konstrukciy-vetrogeneratorov.html>.

10 **Кавуа В. S., Abhishek N Desai, Shridhar M Pager.** «Airborne Wind Turbine» A. Renewable Energy for Generation of Electricity // IJSTE - IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering, Volume 4. Issue 11. May 2018. – P. 105-108.

11 Преобразователь частоты ветрового генератора переменного тока – максимальная мощность 8 МВт. [Электронный ресурс] - https://promarchive.ru/en/catalog/electricity - electronics - optics/power_supplies/solar_inverters_wind_inverters/wind_alternator_frequency_converter - max_8_mva_pcs_6000_wind/.

12 **Джабер Ахмед Ибрагим Джабер.** Автономный преобразователь энергии ветра на базе бесконтактной машины постоянного тока: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук.: 05.09.03 - Санкт-Петербург [Текст] - «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», 2022.- 156 с.

13 **Котов, А. А.** Проектирование и анализ асинхронизированного синхронного генератора для ветроэнергетических установок большой мощностью // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук.: 05.09.03 - Челябинск: «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)», 2021.- 139с.

14 **Котов, А. А., Неустроев, Н. И.** Применение генератора двойного питания для ветроэнергетических установок малой, средней и большой мощности. DOI: 10.14529/power170409 Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2017. Т. 17, № 4. С. 80–89.

15 **Нурмаганбетова, Г. С.** Разработка систем косвенной тепловой защиты асинхронного регулируемого и нерегулируемого электропривода горного оборудования : диссертация на соискание степени доктора

философии (PhD): 6D071800 – Электроэнергетика – РК Караганда, 2019
Карагандинский государственный технический университет, 2019.- 106с.

16 В США и Европе стали чаще ломаться и падать огромные ветрогенераторы: [Электронный ресурс] последнее посещение 06.09.2023, Режим доступа:
https://news.rambler.ru/weapon/50077087/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink

References

1 Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan. O Strategii effektivnogo ispolzovaniya energii i vobnovlyaemyh resursov Respubliki Kazahstan v celyah ustojchivogo razvitiya do 2024 goda [On the Strategy of efficient use of energy and renewable resources of the Republic of Kazakhstan for sustainable development until 2024]: utv. 24 yanvarya 2008 goda, № 60.

2 **Antonov, O. B.** Zelenaya energetika Kazahstana v 21 veke : mify, realnost i perspektivy [Green energy of Kazakhstan in the 21st century : myths, reality and prospects]. Elektronnyj resurs - https://coollib.com/b.usr/Oleg_Borisovich_Antonov_Zelenaya_energetika_Kazahstana_v_21_veke_mify_realnost_i_perspektivy.pdf.

3 Pri pomoshi Kitaya v Kazahstane zapushena odna iz krupnejshih vetryanых elektrostancij v Centralnoj Azii [With the help of China, Kazakhstan has launched one of the largest wind farms in Central Asia] Elektronnyj resurs - https://www.inform.kz/en/ebird-aiib-icbc-and-gcf-provide-us-95-3-million-for-wind-farm-in-kazakhstan_a3710920.

4 **Ahmetkalieva, S.** Energetika i vobnovlyaemye istochniki energetiki v Kazahstane. Regionalnyj ekol gicheskij centr Centralnoj Azii [Energy and renewable energy sources in Kazakhstan. Regional Environmental Center of Central Asia]. Elektronnyj resurs - <https://www.eurasian-research.org/publication/a-promising-green-energy-resource-in-kazakhstan-solar-power/?lang=ru>.

5 V.Sidorovich Krupnejshaya v mire vetryanaya turbina 14 MVt ot Siemens Gamesa bystro nashla zakazchikov [The world's largest 14 MW wind turbine from Siemens Gamesa quickly found customers]. Elektronnyj resurs - <https://renen.ru/krupnejshaya-v-mire-vetryanaya-turbina-14-mvt-ot-siemens-gamesa-bystro-nashla-zakazchikov/>.

6 Vestas Wind Systems A/S. Elektronnyj resurs [Electronic resource] - <https://b2b-postavki.ru/predstavitel/vestas-wind-systems-as.html/>.

7 **A. Martynenko.** Novosti nauki i tehniki i tehnologi. U beregov Norvegii poyavitsya pervyj vertikalnyj vetrogenerator moshnostyu 1 MVt. [Science and technology news and technologists. The first vertical wind turbine with a capacity of 1 MW will appear off the coast of Norway]. Elektronnyj resurs - <https://www.techcult.ru/technology/11268-vertikalnyj-vetrogenerator>.

8 **Effektivnost KPD vetrogeneratora: sposoby uvelicheniya, konstrukciya i rabochie karakteristiki vetryaka** [Efficiency efficiency of a wind turbine: ways to increase, design and performance characteristics of a windmill]. Elektronnyj resurs - <https://energo.house/veter/kpd-vetrogeneratora.html>.

9 **Povnyj, A.** Pyat neobychnyh konstrukcij vetrogeneratorov [Five unusual designs of wind turbines]. Elektronnyj resurs - <https://elektrik.info/main/news/915-5-neobychnyh-konstrukciy-vetrogeneratorov.html>.

10 **Kavya B. S., Abhishek N Desai, Shridhar M Ilager** «Airborne Wind Turbine» A Renewable Energy for Generation of Electricity. IJSTE - IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering. Volume 4. Issue 11. May 2018. pp. 105-108.

11 **Preobrazovatel chastoty vetrovogo generatora peremennogo toka – maksimalnaya moshnost 8 MVt.** [Frequency converter of the wind alternator – maximum power of 8 MW]. Elektronnyj resurs - <https://promarchive.ru/en/catalog/electricity - electronics - optics/power supplies/solar inverters wind inverters/wind alternator frequency converter - max 8 mva pcs 6000 wind/>.

12 **Dzhaber Ahmed Ibragim Dzhaber.** Avtonomnyj preobrazovatel energii vetra na bazebeskontaktnoj mashiny postoyannogo toka [An autonomous wind energy converter based on a direct current contactless machine]: Dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni kand. tehn. nauk.: 05.09.03 - Sankt-Peterburg: «LETI» IM. V.I. Ulyanova (Lenina)», 2022.- 156 p.

13 **Kotov, A. A.** Proektirovanie i analiz asinhronizirovannogo sinhronnogo generatora dlya vetroenergeticheskikh ustanovok bolshoj moshnosti [Design and analysis of an asynchronous synchronous generator for high-power wind power plants] : dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni kand. tehn. nauk.: 05.09.03 – Chelyabinsk : «Yuzhno-Uralskij gosudarstvennyj universitet (nacionalnyj issledovatel'skij universitet)», 2021. P. - 139.

14 **Kotov, A. A., Neustroev, N. I.** Primenenie generatora dvojnogo pitaniya dlya vetroenergeticheskikh ustanovok maloj, srednej i bolshoj moshnosti [Application of a dual power generator for small, medium and high power wind power plants] DOI: 10.14529/power170409 Vestnik YuUrGU. Seriya «Energetika». 2017. T. 17, № 4. pp. 80–89.

15 **Nurmaganbetova, G. S.** Razrabotka sistem kosvennoj teplovoj zashity asinhronnogo reguliruemogo i nereguliruemogo elektroprivoda gornogo oborudovaniya [Development of indirect thermal protection systems for asynchronous regulated and unregulated electric drives of mining equipment]: dissertaciya na soiskanie stepeni doktora filosofii (PhD): 6D071800 – Elektroenergetika – RK Karaganda, 2019 Karagandinskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2019.- 106 p.

16 V SShA i Evrope stali chashe lomatsya i padat ogromnye vetrogeneratory: [In the USA and Europe, huge wind turbines began to break down and fall more often]. Elektronnyj resurs - https://news.rambler.ru/weapon/50077087/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink.

***Г. С. Нурмаганбетова¹, В. В. Каверин², С. С. Исенов¹,
Г. Г. Таткеева, Г. А. Эм²**

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

²Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда

К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК В КАЗАХСТАНЕ

*В статье выполнен анализ приоритетных направлений развития зелёной энергетики в Республике Казахстан и дальнего зарубежья. В соответствии с правительственными документами в Республике Казахстан перспективными направлениями являются солнечная и ветровая энергетика. Ветроэнергетический потенциал страны оценивается в 920 млрд. кВт*ч в год. Обоснована актуальность развития зелёной энергетики в Республике Казахстан. Выполнен анализ современных, хорошо зарекомендовавших себя ветрогенераторов. Наиболее перспективными для ветрогенераторов являются конструкции с горизонтальной и вертикальной осью вращения турбины. Ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения успешно эксплуатируются в Казахстане. Выполнен анализ эксплуатационных особенностей различных типов конструкций и географических мест расположения ветрогенераторных установок с горизонтальной и вертикальной осью вращения турбины. Рассмотрены перспективные варианты технических решений ветрогенераторов на стадии экспериментальных исследований. Рассмотрены варианты схемотехнических решений систем управления отбором мощности электроэнергии ветрогенераторных установок. Генераторы постоянного тока рекомендуется использовать на установках с мощностью до 10 кВт. На мощных установках рекомендуется использовать асинхронные генераторы или генераторы двойного питания. Для мощных генераторов серийно выпускаются инверторы мощностью до 8 МВт, обеспечивающие как автономный, так и ведомый сетью режимы.*

Ключевые слова: ветрогенератор, электроэнергия, защита, ветер, электростанция.

***G. S. Nurmaganbetova¹, V. V. Kaverin², S. S. Issenov¹,
G. G. Tatkeeva¹, G. A. Em²**

¹Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana

²Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda

The article analyzes the priority directions of green energy development in the Republic of Kazakhstan and abroad. In accordance with government documents, solar and wind energy are promising areas in the Republic of Kazakhstan. The country's wind energy potential is estimated at 920 billion. kWh per year. The relevance of the development of green energy in the Republic of Kazakhstan is substantiated. An analysis of modern, well-proven wind turbines has been performed. The most promising designs for wind turbines are those with a horizontal and vertical axis of rotation of the turbine. Wind turbines with a horizontal axis of rotation are successfully operated in Kazakhstan. The analysis of the operational features of various types of structures and geographical locations of wind turbines with horizontal and vertical axes of rotation of the turbine is carried out. Promising options for technical solutions of wind turbines at the stage of experimental research are considered. Variants of circuit design solutions for control systems for the extraction of electric power from wind turbines are considered. DC generators are recommended for use in installations with a power of up to 10 kW. For high-power installations, it is recommended to use asynchronous generators or dual-power generators. For high-power generators, inverters with a capacity of up to 8 MGW are commercially available, providing both autonomous and network-driven modes.

Keywords: wind generator, electricity, protection, wind, power plant.

МРНТИ 50.05, 50.41

DOI:

***И. А. Пирманов¹, К. Т. Кошеков², А. Т. Байдилдина²,
Ж. К. Азаматова², А. Т. Нурғалиева²**

¹ Академия Гражданской Авиации, Республика Казахстан Алматы,

² **Восточно-Казахстанский технический университет** имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, Усть-Каменогорск

*e-mail: i.pirmanov@agkaz.kz

ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ DIGITAL TWIN В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС НА ПРИМЕРЕ ОБУЧЕНИЯ РЕМОНТУ АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Технологии Digital Twin применяется в учебном процессе. Этот процесс дает совершенно новые возможности для предоставления информации и получения как теоретических, так и практических знаний. Данная технология полностью меняет способ взаимодействия пользователей с устройством. Технология Digital Twin дает им свободу экспериментировать и придумывать смелые инновационные приложения или прототипы. Процесс обучения в области ремонта авиационной техники состоит из дорогостоящих оборудование. Для получения эффективного образования необходимо внедрять новые образовательные средства и технологии.

Целью статьи является подход к разработке механизма обучающего программного средства на примере ремонта агрегатов авиационной техники. Программное обеспечение реализовано с помощью технологий DT и 3D моделирования и оценка его эффективности при внедрении в учебный процесс.

Целью исследования является разработка механизм обучающего программного средства на примере ремонта агрегатов авиационной техники, реализованного с помощью технологий DT и 3D моделирования, и оценка его эффективности при внедрении в учебный процесс. Полученное обучающее программное средство предоставит возможность получения практических навыков в процессе обучения в тех областях.

Ключевые слова: метод интервального повторения, Digital Twin (DT), обучающие программные средства, 3D модель.

Введение

Постоянная эволюция технологий выводит образование на новый уровень, которое становится гораздо более привлекательным для студентов, делает возможным использование новых инструментов, что в свою очередь ведет к эволюции процесса обучения [1]. В результате распространения компьютеров и развития интернета информационные системы стали незаменимым инструментом, поддерживающим учебный процесс. В последние годы они определенно укрепили свои позиции не только как эффективный и действенный инструмент, дополняющий традиционные методы и средства, используемые в образовании, но и как первоисточник знаний и формирования профессиональной компетентности [1,3,4,5]. Проведенные до сих пор исследования показывают, что пользователь, находящийся в иммерсивной среде, эффективно усваивает знания [6, 7]. Благодаря своим преимуществам технология ДТ широко используется в исследовательских, промышленных и образовательных областях [8]. Относительная дешевизна современных виртуальных гарнитур дает даже малобюджетным учебным заведениям возможность проводить надлежащее практическое обучение [9].

Материалы и методы

Как следует из, модернизация промышленных предприятий происходит благодаря масштабному внедрению цифровых технологий. Трендом трансформации создание и применение цифровых двойников (ДТ).

По назначению ДТ классифицируются на следующие группы: компоненты, прототипы, демонстраторы, оптимизаторы, программаторы, тени и менеджеры.

ДТ для демонстрации используют для следующих целей:

- визуального представления клиентам технологических решений и продукции в соответствии с техническим заданием;
- информирования пользователей: 3D-туры по производству, инструкции и руководства с динамическими изменениями.

Преимуществом демонстрационных ДТ перед мультимедийными программными продуктами является высокий уровень реалистичности при отображении информации. Благодаря этому свойству данный тип ДТ нашел широкое применение при реализации технологических процессов настройки, ремонта, обслуживания и монтажа оборудования.

Модель ДТ агрегатов авиационной техники для ремонта имеет сложную форму и включает математические функции и логические процедуры, при этом на выходе формируется готовый к использованию программный модуль.

$$DT = \begin{cases} [SW] \\ \langle T_1 \rangle = \{3D^M, \langle E_3 \rangle; [SW(VE4)]\}, \\ \langle T_2 \rangle \end{cases} \quad (1)$$

где $[SW] = f(C, V)$ - программный модуль, включающий функции: C - контроля и V - оценки;

$\langle T_1 \rangle$ - техническая документация (регламент) для разработки VR ;

$\langle T_2 \rangle$ - техническая документация для

использования/эксплуатации VR ;

$\langle E_3 \rangle$ - экспертные рекомендации по компоновке, расположению элементов, эстетичности и дизайну;

$[SW(VE4)]$ – программное обеспечение Unreal Engine 4

В выражении (1) «сшитая» трехмерная 3D-модель формируется при помощи программного обеспечения *Blenders*

$$3D^M = \{ \bigcup_{m=1}^M 3D - V_m^C, V(\dot{t}), \langle SW(Blenders) \rangle, \langle R \rangle \} \quad (2)$$

В выражении (2) благодаря процедуре текстурирования, создается цветное описание неразъемным деталям на основе реального цвета

$$3D - V_m^C = \{ (3D - V_m^D); RGB_{xyz}^m; \langle E_2 \rangle; [SW(SW)] \}, \quad (3)$$

где RGB_{xyz}^m - цветовая система, применяемая для формирования изображений трехмерных моделей неразъемных деталей;

$\langle E_2 \rangle$ - экспертные рекомендации разработчика по текстурированию моделей.

При обучении с применением цифровых двойников процессов ремонта вертолетной техники необходимо оценивать уровень подготовленности для работы на реальном оборудовании.

Результаты и обсуждения

Экспериментально-статистические исследования были связаны с оценкой подготовленности студентов бакалавриата для образовательной программы "Авиационная техника и технологии" АО "Академия гражданской авиации". В соответствии с разработанным и описанным в предыдущем подразделе алгоритмом составлена таблица параметров цифрового двойника.

В таблице 1 $K[i]$ лингвистический ряд авиационных агрегатов, ранжированный по увеличению числа входящих в агрегат элементов и инструментов $M[i]$.

Исследования проводились для 25 агрегатов, которые были разработаны и внедрены на АО "Авиаремонтный завод №405" цифровые двойники

Таблица 1 - Параметры для определения уровня подготовленности механиков

i	$K[i]$	$M[i]$	t_i^{nor}	t_i^{mes}	Δt_i
1	$K[1]$ – 242- 5800-10	1	11	10	0,0267 86
2	$K[2]$ – 636100	2	19	19	0,0353 54
3	$K[3]$ – УП-25/2	2	20	20	0,0147 06
4	$K[4]$ – ГА-59	2	25	24	0,0431 37
5	$K[5]$ – УП 03/2М	2	29	27	0,0610 17
6	$K[6]$ – ЭЦН-91Б	2	32	32	0,0061 16
7	$K[7]$ – АК-50Г	3	38	36	0,0421 05
8	$K[8]$ – 748Б	4	45	45	0,0043 67
9	$K[9]$ – АД-50	5	50	50	0,0019 69
10	$K[10]$ – ГА-192Г	5	51	50	0,0078 13
11	$K[11]$ – УБШ	5	53	52	0,0169 17
12	$K[12]$ – 463Б	6	56	56	0,0017 57
13	$K[13]$ – ГА-77В	7	57	57	0,0086 66

Таблица 2 - Параметры для определения уровня подготовленности электронщиков

i	$K[i]$	$M[i]$	t_i^{nor}		t_i^{mes}		Δt_i
1	$K[1]$ – КОЧ-1А	8	5	10	7	14	0,2857
2	$K[2]$ – ДВ-302	3	9	12	7	12	0,0155
3	$K[3]$ – ЭМ-662Т	7	1	14	2	13	0,0638
4	$K[4]$ – СД-29	0	8	16	9	14	0,1130
5	$K[5]$ – ЭМКО	0	6	18	4	17	0,0645
6	$K[6]$ – Д-1М	4	0	22	7	21	0,0136
7	$K[7]$ – ФР-100	5	0	23	9	22	0,0043
8	$K[8]$ – МП-100С	2	8	33	7	33	0,0029
9	$K[9]$ – МСТ-25А	9	8	44	3	43	0,0334
10	$K[10]$ – МВ-280Б	4	5	48	7	46	0,0371
11	$K[11]$ – ЭМТ-2М	1	6	47	3	47	0,0063
12	$K[12]$ – ИТЭ-1(2)	0	5	56	3	56	0,0035

Для проведения дальнейшего статистического анализа была составлена матрица коэффициентов корреляции для определения уровня подготовленности механиков (таблица 3) и электронщиков (таблица 4). В данных таблицах Δt_i - оценочный временной параметр, а P_j - обучающийся. Для эксперимента привлекались 50 студентов-механиков и 50 студентов-электронщиков, прошедших практический курс занятий с применением цифрового двойника в объеме 25 часов по фронтальному методу.

Таблица 3 - Матрица коэффициентов корреляции ля определения уровня подготовленности механиков

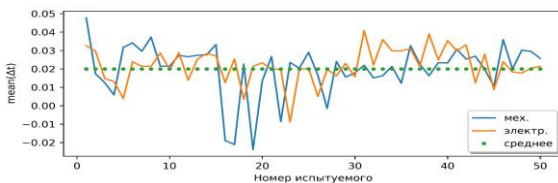
i	$K[i]$	$M[i]$	$\Delta t_i(P_1)$	$\Delta t_i(P_j)$	$\Delta t_i(P_{50})$
1	$K[1] - 242-5800-10$	12	0,026786		
2	$K[2] - 636100$	21	0,035354		
3	$K[3] - УП-25/2$	23	0,014706		
4	$K[4] - ГА-59$	28	0,043137		
5	$K[5] - УП 03/2М$	28	0,061017		
6	$K[6] - ЭЦН-91Б$	28	0,006116		
7	$K[7] - АК-50Т$	37	0,042105		
8	$K[8] - 748Б$	41	0,004367		
9	$K[9] - АД-50$	53	0,001969		
10	$K[10] - ГА-192Т$	59	0,007813		
11	$K[11] - УБШ$	59	0,016917		
12	$K[12] - 463Б$	69	0,001757		
13	$K[13] - ГА-77В$	74	0,008666		

Таблица 4 - Матрица коэффициентов корреляции ля определения уровня подготовленности электронщиков

i	$K[i]$	$M[i]$	$\Delta t_i(P_1)$	$\Delta t_i(P_j)$	$\Delta t_i(P_{50})$
1	$K[1] - КОЧ-1А$	8	0,285714		
2	$K[2] - ДВ-302$	13	0,015504		
3	$K[3] - ЭМ-662Т$	17	0,06383		
4	$K[4] - СД-29$	20	0,113095		
5	$K[5] - ЭМКО$	20	0,064516		
6	$K[6] - Д-1М$	24	0,013636		
7	$K[7] - ФР-100$	25	0,004348		
8	$K[8] - МП-100С$	32	0,002959		
9	$K[9] - МСТ-25А$	39	0,033482		
10	$K[10] - МВ-280Б$	44	0,037113		
11	$K[11] - ЭМТ-2М$	51	0,006303		
12	$K[12] - ИТЭ-1(2)$	60	0,00354		

По формуле (5) была выполнена оценка полученных значений временного параметра Δt , показанного испытуемыми на различных агрегатах.

На рисунке 2 показано среднее выборочное Δt , а также отдельно значения $\overline{\Delta T}$ для механических и электрических агрегатов (механики и электрики соответственно).

Рисунок 1 – Среднее выборочное ΔT

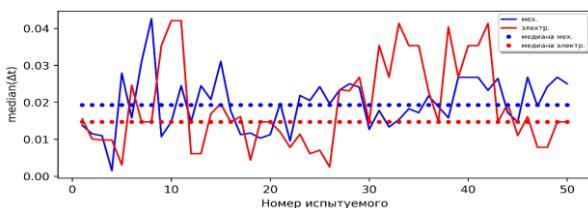
Также на рисунке 2 точками показано общее среднее выборочное, рассчитанное по формуле по значениям $\Delta \bar{T}$ совместно для электрических и механических агрегатов

Полученное значение $mean(\Delta \bar{T}) = 0,0209$, при этом различия для разных типов агрегатов по данному параметру являются незначительными:

$$mean(\Delta \bar{T}_{мех}) = 0,0199,$$

$$mean(\Delta \bar{T}_{электр}) = 0,0218.$$

Анализируя полученные результаты по $\Delta \bar{T}$ можно сделать вывод, что среднее $\Delta \bar{T}$ по выборке соответствует предъявляемым нормативам. Однако, средняя оценка является неустойчивой к выбросам. Рассмотрим величину более робастной оценки, которой является медианное значение. На рисунке 3 показаны рассчитанные медианные значения $median(\Delta t)$ для каждого испытуемого. Данные также разделены на показатели для механических и электрических агрегатов.

Рисунок 2 – Медианное значение ΔT

На график рисунка 3 точками также нанесены значения медианы для совокупности всех значений Δt отдельно для механических и электрических агрегатов. Основываясь на представленной информации, можно сделать вывод, что время сборки механических агрегатов в общем меньше, чем время для электрических агрегатов. Это следует из того, что

линия медианы параметра Δt (голубые точки на рисунке 3) механических приборов располагается выше медианы электрических (красные точки).

Далее оценим параметр среднеквадратического отклонения $\sigma(\Delta t)$, т.е. насколько стабильное время показывают испытуемые на сборке агрегатов.

На рисунке 4 представлены рассчитанные значения $\sigma(\Delta t)$ для механических и электрических агрегатов. У определенной группы испытуемых имеется отличный от остальных разброс по времени при сборке механических агрегатов. Об этом свидетельствуют значения среднеквадратического отклонения. Из этого наблюдения можно предположить, что некоторые участники исследования имели трудности при сборке определенных типов механических агрегатов.

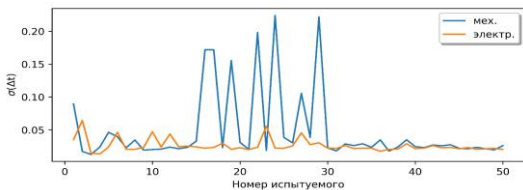


Рисунок 4 – Среднеквадратическое отклонение Δt

Далее определим величины для наилучшего и наихудшего значения Δt для каждого испытуемого. Эти данные показаны на рисунке 4 и рисунке 5 соответственно.

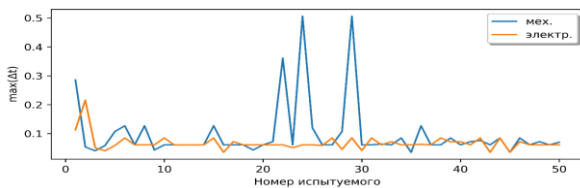


Рисунок 4 – Лучшее значение Δt для каждого испытуемого

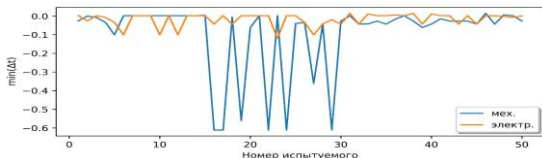


Рисунок 5 – Худшее значение Δt для каждого испытуемого

Анализ данных рисунков 4 и 5 показывает, что часто одни и те же испытуемые демонстрируют высокие показатели при сборке одного типа агрегатов и низкие показатели при сборке других. Это может

свидетельствовать о не усвоении материала по сборке конкретных типов приборов и необходимости проведения дополнительных обучающих по данному направлению.

Таким образом, можно утверждать, что статистические данные по оценке Δt несут чрезвычайно полезную информацию о процессе обучения испытуемых. На основании этих данных можно выполнить корректировку процесса обучения.

На рисунке 6 показано значение коэффициента корреляции Пирсона, рассчитанное для каждого испытуемого.

Из рисунка 6 видно, что линейная зависимость между числом деталей и Δt практически отсутствует. Из этого следует, что параметр Δt может эффективно отображать полученные навыки в сборке агрегатов независимо от его типа и числа входящих в его состав компонентов.

Для определения испытуемых, которые показали лучшие или худшие результаты на сборке конкретного агрегата можно воспользоваться графиком на рисунке 7. На данном рисунке приводятся данные для величины Δt для каждого испытуемого по каждому механическому агрегату. На рисунке 8 приводится аналогичная информация по электрическим агрегатам.

На рисунках 7 и 8 следует, что каждый агрегат помечен своим цветом в зависимости от числа деталей N в нем.

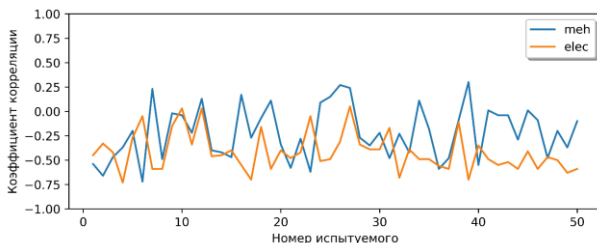


Рисунок 6 – Линейная корреляция между числом элементов в агрегате и значением Δt

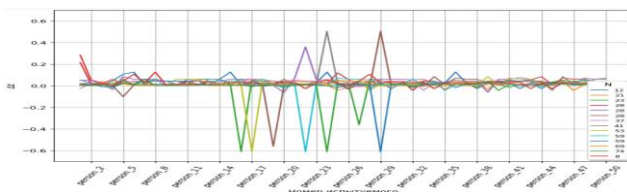


Рисунок 7 – Зависимость Δt по каждому механическому агрегату для каждого испытуемого

Графики рисунков 6 и 7 позволяют проанализировать общую тенденцию сборки каждого отдельного агрегата и определить наиболее сложные для освоения.

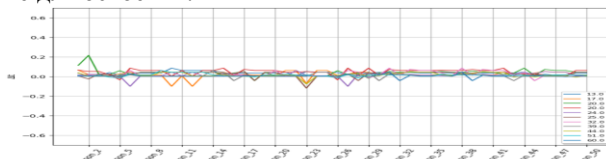


Рисунок 8 – Зависимость Δt по каждому электрическому агрегату для каждого испытуемого

Выводы

В обучении вместо дорогостоящих инструментов и лабораторий экономичнее применять их копии в виде 3D-моделей с идентичными физическими свойствами. DT технология позволяет проводить учебные мероприятия, которые сложно реализовать на обычных лабораторных занятиях.

Опыт внедрения виртуальной реальности в образовательный процесс показал преимущество перед традиционными технологиями обучения, так как обучаемый активен и может улучшить свои навыки на прототипе реальной практики. Однако самое эффективное – это обучение с применением цифровых двойников на VR и на реальных объектах.

Приведены результаты экспериментальных исследований с применением метода анализа аттестации обучающихся с применением цифровых двойников при сборке авиационных агрегатов. Установлено, что на производственном участке авиаремонтного предприятия эффективно применять обучение на первом этапе с применением цифровых двойников, а на втором - с применением реальных объектов.

Опыт внедрения данной технологии в образовательный процесс показал преимущество перед традиционными технологиями обучения, так как обучаемый активен и может улучшить свои навыки на прототипе реальной практики.

Благодарность

Статья подготовлена в рамках проекта по грантовому финансированию Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 гг. ИРН: AP19680080

Разработка тренажерного комплекса с системой инженерной поддержки технической эксплуатации военной и специальной авиационной транспортной техники

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Piovesan S. D., Passerino L. M., Pereira Ad. S.** Virtual reality as a tool in the education // IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA); Madrid, Spain; 2012. p. 295-298.

2 **Qurat-ul-Ain, Shahid F., Aleem M., Islam A., Iqbal M., Yousaf M.** A review of technological tools in teaching and learning computer science // Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education; 2019. 15(11). P. 17. DOI: 10.29333/ejmste/109611

3 **Seegerer S., Romeike R.** Computer science as a fundamental competence for teachers in other disciplines // In Proceedings of the 13th Workshop in Primary and Secondary Computing Education (WiPSCE); New York, USA; 2018. p. 1-2. DOI: 10.1145/3265757.3265787

4 **Stošić L., Stošić I.** Perceptions of teachers regarding the implementation of the internet in education // Computers in Human Behavior; 2015. 53. p. 462-468. DOI:10.1016/j.chb.2015.07.027

5 **Tatnall A., Davey B.** Reflections on the history of computers in education // IFIP Advances in Information and Communication Technology; USA; 2014. 424. p. 129-152.

6 **Collins A., Halverson R.** Rethinking Education in the Age of Technology: The Digital Revolution and Schooling in America // Teachers College Press; New York, USA; 2018. R. 12.

7 **Kaminska D., Sapinski T., Wiak S., Tikk T., Haamer R., Avots E., Helmi A., Ozcinar C., Anbarjafari G.** Virtual Reality and Its Applications in Education: Survey // Information; Switzerland; 2019. 10(10):318. P. 20. DOI:10.3390/info10100318

8 **Lazar I., Panisoara I. O.** Understanding the role of modern technologies in education: A scoping review protocol // Psychreg Journal of Psychology; University of Bucharest, Romania; 2018. 2. p. 74-86. DOI:10.5281/zenodo.1788345

9 **Lan Y. J.** Immersion into virtual reality for language learning. // Psychology of Learning and Motivation; 2020. 72. p. 1-26. DOI:10.1016/bs.plm.2020.03.001

10 **Paszkiwicz A., Salach M., Strzalka D., Budzik Gr., Nikodem A., Wojcik H., Witek M.** VR Education Support System A Case Study of Digital Circuits Design // Selected Issues of Electrical Engineering, Electronics and Mechatronics; 2022. 15(1). p. 277-301. DOI: 10.3390/en15010277

11 **Hurtado C.V., Valerio A.R., Sanchez L.R.** Virtual Reality Robotics System for Education and Training // In 2010 IEEE Electronics, Robotics and automotive mechanics conference; 2010. p. 162-167. DOI:10.1109/CERMA.2010.98

*** И. А. Пирманов¹, К. Т. Кошеков², А. Т. Байдилдина²,
Ж. К. Азаматова², А. Т. Нурғалиева²**

¹Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.,

АВИАЦИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫ ЖӨНДЕУГЕ ОҚИТУ МЫСАЛЫНДА ОҚУ ҮРДІСІНЕ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЕНГІЗУ

Оқу процесінде Digital Twin технологиясын пайдалану ерекше қызығушылық тудырады, өйткені ол ақпарат беру және теориялық және практикалық білім алу үшін мүлдем жаңа мүмкіндіктер береді. Digital Twin технологиясы пайдаланушылардың құрылғымен өзара әрекеттесу тәсілін толығымен өзгертіп, оларға эксперимент жасауға және қымбат жабдықты зақымдаудан қорықпай батыл, инновациялық қолданбаларды немесе прототиптерді шығаруға еркіндік береді. Әуе кемелерін жөндеу саласында оқыту процесі күрделі және қымбат. Нәтижелі білім алу үшін жаңа білім беру құралдары мен технологияларын енгізу қажет. Мақаланың мақсаты – DT және 3D модельдеу технологияларын қолдану арқылы жүзеге асырылатын авиациялық техника блоктарын жөндеу мысалында оқытудың бағдарламалық механизмін әзірлеуге көзқарасты көрсету және оқу процесіне енгізу кезінде оның тиімділігін бағалау.

Зерттеудің мақсаты – DT және 3D модельдеу технологияларын қолдану арқылы жүзеге асырылатын ұшақ агрегаттарын жөндеу мысалында оқыту бағдарламалық құралының механизмін әзірлеу және оқу процесіне енгізу кезінде оның тиімділігін бағалау. Алынған оқу бағдарламалық жасақтамасы сол салалардағы оқу үдерісінде практикалық дағдыларды алуға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: аралық қайталау әдісі, Digital Twin (DT), оқыту бағдарламалық құралы, 3D моделі.

*** I. Pirmanov¹, K. Koshekov¹, A. Baidildina², Zh. Azamatova², A. Nurgaliyeva²**

¹Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty,

²D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

INTRODUCTION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY IN THE EDUCATIONAL PROCESS ON THE EXAMPLE OF TRAINING TO REPAIR AVIATION EQUIPMENT UNITS

The use of Digital Twin technology in the educational process is of particular interest, as it provides completely new opportunities for providing information and obtaining both theoretical and practical knowledge. Digital Twin technology completely changes the way users interact with a device, giving them the freedom to experiment and come up with bold, innovative applications or prototypes without worrying about damaging expensive hardware. The process of training in the field of aircraft repair is complex and expensive. To obtain effective education, it is necessary to introduce new educational tools and technologies. The purpose of the article is to present an approach to the development of a training software mechanism using the example of repair of aircraft equipment units, implemented using DT and 3D modeling technologies, and to evaluate its effectiveness when introduced into the educational process.

The purpose of the study is to develop a mechanism for a training software tool using the example of repair of aircraft units, implemented using DT and 3D modeling technologies, and to evaluate its effectiveness when implemented in the educational process. The resulting training software will provide the opportunity to gain practical skills in the learning process in those areas.

Keywords: spaced repetition method, Digital Twin (DT), training software, 3D model.

МРНТИ 47.63.00

DOI

***А. Б. Сагындык, А. В. Мануковский, А. А. Мануковский**

Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г.Павлодар;

*e-mail: aiko_90@mail.ru**Разработка беспроводного датчика тока и напряжения
для солнечно-ветряной электростанции**

Необходимость разработки беспроводных датчиков тока и напряжения для мониторинга работы солнечно-ветряной электростанции (СВЭС) неоднократно обосновывалась ранее, например, в [1], [2], [3]. Настоящая статья является продолжением и развитием публикаций [1] и [11]. В ней рассматриваются вопросы разработки беспроводного цифрового датчика тока и напряжения, обеспечивающего аппаратную защиту от постороннего вмешательства в процесс дистанционного обмена данными. Предлагается структурная схема датчика, разработанная на основе производимых серийно датчика тока и напряжения, модуля радиопередатчика, модуля приёмника кодовых посылок инфракрасного излучения и недорогого экономичного восьмиразрядного микроконтроллера широкого применения. Выбирается оптимальный первичный датчик тока и напряжения, рассчитываются параметры его конфигурации. Решаются вопросы гальванической развязки цепей питания предлагаемых датчиков от силовых цепей СВЭС. Описывается два режима работы разработанного датчика. Первый – (основной) режим измерения и передачи данных по запросам от генератора инфракрасных кодовых посылок – используется по умолчанию с целью обеспечения сбора данных от нескольких беспроводных датчиков. Второй режим предназначен для оперативной дистанционной диагностики исправности датчиков и контроля основных параметров их настройки без отключения датчиков от цепей СВЭС и без их извлечения из корпусов.

Ключевые слова: Датчик тока, датчик напряжения, беспроводной датчик, микроконтроллер, радиомодуль, приёмник инфракрасного излучения.

Введение

Информация о токе и напряжении необходима для обеспечения работоспособности системы мониторинга солнечно-ветряной электростанции [1], [2] и [3]. В настоящее время ни у кого не вызывает

сомнений, что измерения и передача данных должны осуществляться в цифровой форме. Методы получения информации о токе подробно рассмотрены нами в [1]. Применению для измерения постоянного напряжения в силовых цепях СВЭС пригодных для этой цели электрооптических датчиков препятствуют дрейф их параметров в течение срока службы и ограничения по удобству монтажа [4]. Типовым решением в нашем случае является применение АЦП, входящих в состав современных микроконтроллеров (МК). Поскольку опорное напряжение в таких АЦП обычно не превышает 5 В, для приведения относительно высоких уровней напряжений в цепях СВЭС к диапазону входного напряжения АЦП приходится применять резистивные делители напряжения. При измерении тока для измерения малых напряжений на шунтах или датчиках Холла нельзя обойтись без дополнительных усилителей постоянного тока, подверженных дрейфу нуля на их выходах и требующих биполярного источника питания. Наряду с понижением разрешающей способности и точности всё это усложняет схему датчика. Подход к выбору оборудования для измерения постоянного тока и напряжения в корне изменяет появление в широкой продаже [5] недорогих интеллектуальных датчиков в интегральном исполнении.

Материалы и методы

Для получения первичной информации о токе и напряжении непосредственно в цифровой форме наиболее подходящими оказались датчики INA219 [1], позволяющие одновременно измерять не только напряжение, но и силу, и мощность постоянного тока. Эти датчики уже содержат внутри кристалла коммутатор режимов измерения (ток/напряжение), предварительный усилитель и встроенный 12-разрядный АЦП, который обеспечивает гораздо более высокие метрологические и скоростные параметры, чем 10-разрядные АЦП большинства широко распространённых микроконтроллеров [6]. Кроме того, они очень компактны и экономичны, потребляют по цепи питания мощность не более 1 милливатта. С помощью одного такого датчика можно с высокой точностью одновременно измерить напряжение до 26 В, ток до 3.2 А и мощность до 83 Вт. Измерение тока осуществляется с помощью встроенного шунта с точностью 1% (выводы Vin+ и Vin-). Микросхема путём усреднения заданного количества выборок АЦП измеряет напряжение на выводах для подключения напряжения и падение напряжения на шунте, затем по законам электротехники рассчитывает ток и мощность и заносит их в свои внутренние регистры. Содержимое регистров может быть считано из микросхемы по интерфейсу I2C менее чем за 1 мс. Для расширения пределов измерения по току и мощности авторами применён внешний шунт.

Расчёт содержимого регистров INA219 выполнен в среде BasCom-AVR по программе, составленной на основе методики, изложенной в Datasheet модуля INA219 [6]. В результате расчёта для датчиков, измеряющих ток с внешним шунтом 15 А, 75 мВ получены значения регистра Config=2EEF (Hex), (усреднение из 32+32 выборок АЦП за 34 мс), а регистра Calibr=7A44. Для датчиков, измеряющих только напряжение, Config=2EEE (усреднение из 32 выборок АЦП за 17 мс, АЦП не тратит время на измерение тока), Calibr=0000. Выбранные параметры настройки датчиков обеспечивают максимальный отображаемый ток 32,8 А и отсутствие «дрожания» показаний между повторными измерениями. Полученные значения заносятся микроконтроллером в регистры INA219 при каждом старте управляющей программы. Возможность настройки количества усредняемых выборок АЦП в INA219 в сочетании с выдачей результата в цифровом виде позволяет использовать для управления процессом измерения недорогой экономичный МК без АЦП с небольшим объёмом памяти программ, например, Attiny2313A фирмы Atmel [7]. Этот МК выбран авторами из-за его способности нормально работать при понижении напряжения питания вплоть до 1,8 Вольта и из-за малого тока потребления. При тактовой частоте 4 МГц потребляемый им ток при напряжении питания 3,3 В не превышает 2 мА.

По аналогичным соображениям для построения беспроводного датчика авторами применён инфракрасный приёмник TSOP31236 фирмы Vishay, способный безошибочно принимать кодовые посылки ИК-излучения на расстоянии до 24 метров даже при снижении напряжения питания до 2,5 Вольт [8].

Для передачи измеренных значений тока и напряжения по радио нами применён трансивер JDY-40 [9]. Этот радиомодуль выбран из-за его способности обеспечивать дальность передачи в условиях прямой видимости до 120 метров при низких напряжениях питания от 2,2 до 3,6 В и из-за низкого потребления тока в спящем режиме (не более 5 мкА), а также из-за удобства подключения к микроконтроллеру по интерфейсу UART.

Для питания датчиков принято решение использовать автономные гальванические источники питания. Выбор никель-цинковых аккумуляторов РКCELL типоразмера AA [10] обусловлен их повышенным номинальным напряжением 1,6...1,7 В и отсутствием в их составе импульсных преобразователей. Такие аккумуляторы не являются источниками дополнительных электромагнитных помех для приёмника инфракрасного излучения, входящего в состав разработанного датчика, равно как и для других цепей управления и измерения СВЭС. Номинальное напряжение батареи из двух таких элементов равно 3,3 В и идеально подходит для питания всех составных частей датчика. Время непрерывной

работы датчика от одного комплекта аккумуляторов составляет, как минимум, 1 месяц. При разряде источника питания до напряжения ниже 3,05 В (т.е., приблизительно за двое суток до нарушения работоспособности самого критичного к питанию узла) датчик автоматически включает сигнал «Supply is low» в состав байта информации о номере датчика. Этот факт непрерывно индицируется и протоколируется на приёмном конце радиолинии вместе с данными измерений и метками времени. Замена источника питания производится в паузе между импульсами опроса за 1...2 с и не приводит к нарушению процесса мониторинга.

Структурная схема разработанного датчика тока и напряжения показана на рисунке 1.

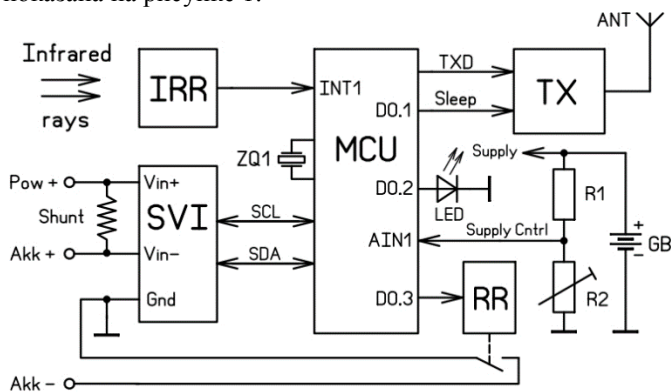


Рис.1. Структурная схема беспроводного датчика тока и напряжения

Обозначения на этом рисунке: IRR – инфракрасный приёмник, Pow+ – клемма для подключения общей точки выхода источников природной энергии и нагрузки, Akk+ и Akk– – клеммы для подключения силового аккумулятора, Shunt – внешний шунт для измерения тока в силовой цепи. На всю цепочку из последовательно соединённых аккумуляторов устанавливается один шунт, датчики остальных аккумуляторов измеряют только напряжение, и их клеммы Pow+ оставляются неподключенными. SVI – первичный датчик напряжения и тока, ZQ1 – кварцевый резонатор, MCU – микроконтроллер, LED – индикаторный светодиод, TX – радиопередатчик, RR – герконовое реле. Делитель из резисторов R1 и R2, выход которого подключён ко входу AIN1 аналогового компаратора МК, и внутренний источник образцового напряжения, подключённый внутри МК ко второму входу аналогового компаратора, образуют узел контроля напряжения питания МК. Величина порога срабатывания узла контроля устанавливается при помощи прецизионного построечного резистора R2. Внешний вид датчика со снятым корпусом приведён на рисунке 2.

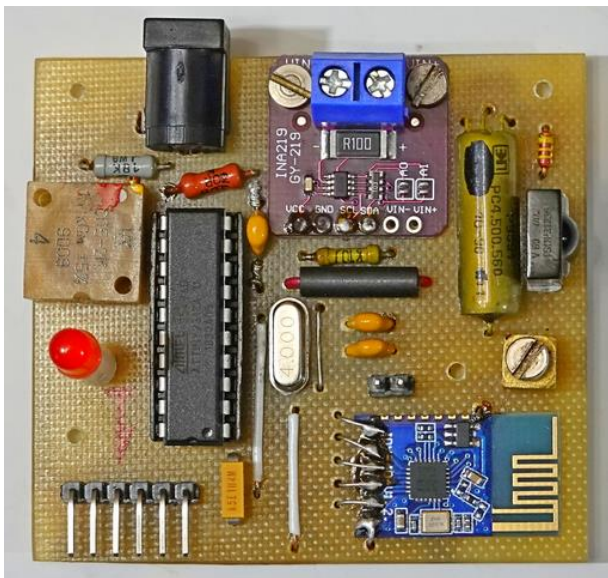


Рис.2. Внешний вид беспроводного датчика тока и напряжения.

Датчик может работать в основном и диагностическом режимах. В основном режиме датчик работает следующим образом. Большую часть времени наиболее энергоёмкий модуль датчика TX находится в спящем режиме, а контакт реле RR разомкнут. Благодаря этому средний потребляемый датчиком ток не превышает 2,4 мА, а измерительная цепь напряжения не потребляет ток от силового аккумулятора. Управляющий датчиком МК через порт INT1 циклически опрашивает инфракрасный приёмник, подавая в конце цикла импульсы сброса на встроенный в МК сторожевой таймер (WDT). Поэтому в нормальном режиме WDT не вмешивается в работу датчика. В случае зависания МК, например, от действия сильных электромагнитных помех, WDT дорабатывает установленное время (в нашем случае – 512 мс) и перезапускает МК. Его работа по программе автоматически возобновляется. При поступлении запроса от специального ИК-генератора импульсов запроса (ИК-ГИЗ) или от ИК-пульта приёмник IRR принимает, а МК расшифровывает его код. В случае приёма кода, соответствующего запросу на инициализацию процесса измерения *i*-го датчика, МК контактами реле RR_{*i*} подключает этот датчик к аккумулятору на время порядка 15...50 мс и считывает ток и напряжение из регистров *i*-го SVI. Затем МК запрошенного датчика формирует посылку ответа, содержащую байт номера датчика, два байта напряжения, два байта тока и байт контрольной суммы посылки. После чего несколько раз подряд передаёт пакет из нескольких таких посылок в радиоэфир. Для передачи пакета передатчик на время 200...300 мс

выводится из состояния сна. На время процесса измерения и передачи пакета загорается светодиод LED, визуализирующий ответ датчика. Остальные датчики беспроводной сети игнорируют не предназначенный им запрос. Неоднократная передача информационных посылок и их контрольной суммы позволяет организовать на приёмной стороне программную отстройку от ошибок приёма при наличии помех в радиоканале. Экспериментальным путём установлено, что при использовании трансиверов JDY-40 для организации бесперебойного процесса сбора данных на скорости 9600 бод в помещении аппаратной СВЭС ТоУ достаточно иметь 3-4 посылки в пакете. Организация помехоустойчивого радиоканала подробно описана авторами в [11].

В случае понижения напряжения питания датчика ниже установленного порога сигнал на выходе узла контроля напряжения питания изменяется, и МК передатчика прибавляет к номеру датчика число 100. Сформированный таким образом сигнал о понижении напряжения питания легко выделяется МК на приёмной стороне радиоканала.

В случае приёма кода, соответствующего запросу перехода в диагностический режим, МК инициирует передачу по радио диагностических данных. Диагностический режим предназначен для оперативной дистанционной диагностики исправности датчиков и контроля основных параметров их настройки без отключения датчиков от цепей СВЭС и без их извлечения из корпусов. Он инициируется отдельно для каждого датчика с помощью стандартного инфракрасного пульта дистанционного управления в паузах между импульсами опроса датчиков от ИК-ГИЗ либо при временном выключении последнего. Результаты диагностики принимаются дистанционно с помощью стандартного радиомодуля и отображаются на экране ноутбука при посредстве стандартного TTL-USB адаптера или на экране смартфона при посредстве Bluetooth модуля. Пример ответа датчика на запрос диагностических данных приведён ниже.

Sender_2,4 V.4.9 for Sensor #4 & Shunt= 15A
Press 4-th button in the penultimate Row of the IR-Pult for output U4 & I4!
Config_4: 2EEF, Calibr= 7A44 10U= -1 mV Low Supply Voltage!

В приведённом примере напряжение питания датчика №4 составило меньше 3,05 Вольт, что и зафиксировано в последней строке его ответа.

ИК-ГИЗ выполнен на базе недорогого МК AT90S2313 и содержит ИК-светодиод, усилитель тока для него, индикаторы опрашиваемого в текущий момент датчика, узлы установки периода и регулировки мощности импульсов запроса, а также индикатор паузы в генерации

импульсов. Более подробное описание ИК-ГИЗ не укладывается в рамки настоящей статьи.

Результаты и обсуждение

В результате проведённой работы авторами разработан беспроводной интеллектуальный датчик тока и напряжения, пригодный для организации мониторинга работы СВЭС Торайгыров университета (ТоУ) в помещении аппаратной «Зелёной энергетики». Кроме решения главной задачи по организации беспроводного сбора данных авторам удалось обеспечить множество дополнительных полезных функций, позволяющей в будущем превратить систему сбора данных в автоматическую систему управления (АСУ) работой СВЭС с функциями защиты основных элементов СВЭС от повреждений и ненормальных режимов эксплуатации (ЗПНРЭ).

– Построение датчиков и остального оборудования на основе серийно производимых широкодоступных электронных компонентов и модулей облегчает организацию их серийного производства.

– Питание датчиков от автономных источников, гальванически не привязанных к силовым цепям, равно как и беспроводной способ передачи информации, позволяет избежать «паутины» из проводов вблизи силовых цепей СВЭС и таким образом минимизировать их влияние на измерительные цепи и регистрирующую аппаратуру.

– Применение автономных источников питания для датчиков значительно расширяет свободу выбора мест их установки в силовых цепях СВЭС, находящихся под разным потенциалом по отношению к общему проводу, что особенно актуально, например, для последовательно соединённых аккумуляторов СВЭС.

– Подключение измерительных цепей напряжения датчиков к аккумуляторам только на время измерения автоматически снимает проблему предотвращения порчи аккумуляторов СВЭС вследствие их глубокого разряда при длительном дефиците солнечной и ветровой энергии или при временной консервации СВЭС. Ресурс герконовых реле позволяет в нашем случае осуществлять такую коммутацию в течение десятков лет [12].

– Встроенная в датчики и в ИК-ГИЗ аппаратная защита от «зависания» предотвращает нарушения процессов мониторинга, работы АСУ и ЗПНРЭ из-за действия помех, возникающих при переключениях в силовых цепях СВЭС.

– Разработанные датчики содержат средства оперативной диагностики их исправности и контроля основных параметров их настройки. Процесс диагностики может быть инициирован практически в любой момент с помощью дистанционного ручного пульта управления.

Для этого не требуется отключение датчиков от цепей СВЭС и подключение к ним дополнительных проводов.

– Современный уровень развития технологий для дистанционного вмешательства в работу систем управления (как пример – центрифуги в Иране) привёл авторов к выводу, что надёжную защиту от вредоносных воздействий следует обеспечивать путём разработки аппаратуры, функционирование которой аппаратно не зависит от Интернета. Более того, в предлагаемой авторами системе процесс дистанционного обмена данными защищён от постороннего вмешательства за счёт отказа от обмена критичной с точки зрения взлома информацией по любым радиоканалам. Передача запросов на датчики и управляющих воздействий на силовое оборудование производится исключительно по ИК-каналу. При таком подходе даже забивка радиоканала мощными помехами средствами РЭБ лишь приостановит процесс мониторинга, но не приведёт к выдаче ложных управляющих воздействий на силовое оборудование СВЭС.

Информация о финансировании

В статью включены результаты исследований, выполненных в рамках грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2022-2024 годы по проекту ИРН AP15473220 «Совершенствование алгоритмов работы солнечно-ветровой электростанции», финансируемого Комитетом Науки МНВО РК.

Выводы

В настоящей статье авторами на основе использования современной широкодоступной элементной базы решена задача разработки интеллектуального беспроводного датчика тока и напряжения, пригодного для организации мониторинга работы СВЭС Торайгыров университета. Успешные испытания изготовленных в лаборатории прикладной электроники ТоУ нескольких экземпляров датчиков и оборудования для приёма и регистрации переданных датчиками данных доказывают правильность заложенных в их основу принципов построения и технических решений.

Принципы и методы, описанные в статье, пригодны для реализации беспроводных датчиков практически любых физических величин, поэтому область применения разработанного датчика может быть значительно более широкой.

Список использованных источников

1 **Мануковский, А. В., Сагындык, А. Б.** Выбор датчиков тока для мониторинга работы солнечно-ветровых электростанций // Вестник Торайгыров университета. – 2022. – №4. – С. 212–225.

2 **Atika, Z., Leow, W. Z., Iszaidy, I., Irwan, Y. M., Safwati, I., Irwanto, M., Wafi, N. M., Saw, S. X.** Development A Portable Solar Energy Measurement System // The 1st International Conference on Engineering and Technology (ICoEngTech). – 2021. – №1962.

3 **Ogidan, O. K., Amusan, A. A., Nkanga, I. E.** Monitoring of photovoltaic panel in a solar-powered lab scale smart irrigation system // LAUTECH Journal of Engineering and Technology. – 2020. – № 14 (1). – P. 8–20.

4 **Parker, D. M., McCollough, N. D.** Medium-voltage sensors for the smart grid: Lessons learned // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2011. – P. 1–7.

5 Двухнаправленный модуль источника питания постоянного тока SOT23 INA219 [Электронный ресурс]. – URL: https://aliexpress.ru/item/1005003041425999.html?spm=a2g2w.orderdetail.0.0.4b3b4aa6Zk74w0&sku_id=12000023402820342 (Дата обращения: 1.03.2024)

6 INA219 Datasheet (PDF) - Texas Instruments [Electronic resource]. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/249609/TI/INA219.html> (Date conversion: 01.03.2024).

7 8-bit Microcontroller with 2/4K Bytes In-System Programmable Flash [Electronic resource]. – URL: https://www.keysemi.com/upload/data_sheet/attiny2313a-pu.pdf (Date conversion: 01.03.2024).

8 TSOP31236 Datasheet (PDF) - Vishay Siliconix [Electronic resource]. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/252281/VISHAY/TSOP31236.html> (Date conversion: 01.03.2024).

9 JDY-40-datasheet [Electronic resource]. – URL: <https://www.rcscomponents.com/datasheets/JDY-40-datasheet.pdf> (Date conversion: 01.03.2024).

10 Polymer Li-ion Battery Technology Specification [Electronic resource]. – URL: <https://www.infinite-electronic.ru/datasheet/66-1781.pdf> (Date conversion: 01.03.2024).

11 **Мануковский, А. В., Сагындык, А. Б., Талипов, О. М.** Разработка помехоустойчивого радиоканала для организации мониторинга работы электростанции «зеленой энергетики» // Вестник Торайгыров университета. – 2023. – №3. – С. 184–196.

12 **Клецель М. Я., Алишев Ж. Р., Мусин В. В., Мануковский А. В.** Свойства герконов, применяемых в релейной защите // Электричество. – 1993. – №9. – С. 18–21.

References

1 **Manukovskij, A. V., Sagyndyk, A. B.** Vybor datchikov toka dlya monitoringa raboty solnechno-vetrovyh elektrostanciy [Selection of current sensors for monitoring of working of solar-wind power plants] //Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2022. – №4. –pp. 212–225.

2 **Atika, Z., Leow, W. Z., Iszaidy, I., Irwan, Y. M., Safwati, I., Irwanto, M., Wafi, N. M., Saw, S. X.** Development A Portable Solar Energy Measurement System // The 1st International Conference on Engineering and Technology (ICoEngTech). – 2021. – №1962.

3 **Ogidan, O. K., Amusan, A. A., Nkanga, I. E.** Monitoring of photovoltaic panel in a solar-powered lab scale smart irrigation system // LAUTECH Journal of Engineering and Technology. – 2020. – № 14 (1). – pp. 8–20.

4 **Parker, D. M., McCollough, N. D.** Medium-voltage sensors for the smart grid: Lessons learned // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2011. – pp. 1–7.

5 Dvunapravlennyj modul' istochnika pitaniya postoyannogo toka SOT23 INA219 [Bidirectional DC Power Supply Module SOT23 INA219] [Электронный ресурс]. – URL: https://aliexpress.ru/item/1005003041425999.html?spm=a2g2w.orderdetail.0.0.4b3b4aa6Zk74w0&sku_id=12000023402820342 (Date conversion: 01.03.2024).

6 INA219 Datasheet (PDF) - Texas Instruments [Electronic resource]. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/249609/TI/INA219.html> (Date conversion: 01.03.2024).

7 8-bit Microcontroller with 2/4K Bytes In-System Programmable Flash [Electronic resource]. – URL: https://www.keysemi.com/upload/data_sheet/attiny2313a-pu.pdf (Date conversion: 01.03.2024).

8 TSOP31236 Datasheet (PDF) - Vishay Siliconix [Electronic resource]. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/252281/VISHAY/TSOP31236.html> (Date conversion: 01.03.2024).

9 JDY-40-datasheet [Electronic resource]. – URL: <https://www.rcscomponents.com/datasheets/JDY-40-datasheet.pdf> (Date conversion: 01.03.2024).

10 Polymer Li-ion Battery Technology Specification [Electronic resource]. – URL: <https://www.infinite-electronic.ru/datasheet/66-1781.pdf> (Date conversion: 01.03.2024).

11 **Manukovskij, A. V., Sagyndyk, A. B., Talipov, O. M.** Razrabotka pomekhoustoychivogo radiokanala dlya organizacii monitoringa raboty elektrostancii «zelenoj energetiki» [development of an interference-resistant

radio channel to organize monitoring of the operation of the «green energy» power plant] // Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2023. – №3. – pp. 184–196.

12 Kletsel, M. Y., Musin V. V., Alishev Z. R., Manukovskij, A. V. Svoystva gerkonov, primenyayemykh v releynoy zaschite [Properties of reed switches used in relay protection] // Elektrichestvo. – 1993. – №9. – pp. 18–21.

Ә. Б. Сағындық, А. В. Мануковский, А. А. Мануковский
Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

КҮН-ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫ ҮШІН СЫМСЫЗ ТОК ЖӘНЕ КЕРНЕУ СЕНСОРЫН ӨЗІРЛЕУ

Күн-жел электр станциясының (КЖЭС) жұмысын бақылау үшін сымсыз ток және кернеу датчиктерін жасау қажеттілігі бұрын бірнеше рет дәлелденген, мысалы, [1], [2], [3]. Бұл мақала [1] және [11] басылымдарының жалғасы және дамуы болып табылады. Ол қашықтан деректер алмасу процесінде сыртқы кедергілерден аппараттық қорғанысты қамтамасыз ететін сымсыз цифрлық ток және кернеу сенсорын әзірлеуді талқылайды. Коммерциялық өндірілген ток және кернеу датчигі, радиотаратқыш модулі, инфрақызыл сәулелену кодының қабылдағыш модулі және кең қолдану үшін арзан, үнемді сегіз разрядты микроконтроллер негізінде әзірленген датчиктің құрылымдық схемасы ұсынылған. Оңтайлы бастапқы ток және кернеу сенсоры таңдалады, оның конфигурация параметрлері есептелінген. Ұсынылған датчиктердің қуат тізбектерін КЖЭС қуат тізбектерінен гальваникалық оқшаулау мәселелерін шешу қарастырылған. Әзірленген сенсордың екі жұмыс режимі сипатталған. Бірінші - (негізгі) инфрақызыл код генераторынан сұраулар бойынша деректерді өлшеу және беру режимі - бірнеше сымсыз сенсорлардан деректерді жинауды қамтамасыз ету үшін әдепкі бойынша пайдаланылады. Екінші режим сенсорларды КЖЭС тізбектерінен ажыратпай және оларды корпусардан шығармай-ақ датчиктердің жарамдылығын онлайн қашықтықтан диагностикалауға және олардың бағытталуының негізгі параметрлерін бақылауға арналған.

Кілтті сөздер: Ток датчигі, кернеу датчигі, сымсыз датчик, микроконтроллер, радиомодуль, инфрақызыл қабылдағышы.

A. B. Sagyndyk, A. V. Manukovsky, A. A. Manukovsky
Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

DEVELOPMENT OF A WIRELESS CURRENT AND VOLTAGE SENSOR FOR SOLAR-WIND POWER PLANT

The need to develop wireless current and voltage sensors for monitoring the operation of a solar-wind power plant (SWPP) has been repeatedly substantiated earlier, for example, in [1], [2], [3]. This article is a continuation and development of publications [1] and [11]. It discusses the development of a wireless digital current and voltage sensor that provides hardware protection against outside interference in the process of remote data exchange. A block diagram of the sensor is proposed, developed on the basis of a commercially produced current and voltage sensor, a radio transmitter module, an infrared radiation code receiver module and an inexpensive, economical eight-bit microcontroller for wide application. The optimal primary current and voltage sensor is selected, and its configuration parameters are calculated. The issues of galvanic isolation of the power circuits of the proposed sensors from the power circuits of the SWPP are being resolved. Two modes of operation of the developed sensor are described. The first - (main) mode of measuring and transmitting data on requests from an infrared code generator - is used by default to ensure the collection of data from several wireless sensors. The second mode is intended for on-line remote diagnostics of the sensor serviceability and monitoring of the main parameters of their settings without disconnecting the sensors from the SWPP circuits and without removing them from the housings.

Keywords: Current sensor, voltage sensor, wireless sensor, microcontroller, radio module, infrared radiation receiver.

МРПТИ 44.01.05***Symbat Manat, Vyacheslav Yugay**

Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda

*e-mail: manatsymbat20@gmail.com

ANALYSIS OF CIRCUITS WITH UNIFORM PHASE SHIFT OF INVERTER CELLS

The article discusses the methods of constructing an inverter with summation of the power conversion cell currents. A computer simulation of the proposed load current distribution schemes of a multicellular inverter with a phase shift of cells has been carried out. When considering the task of increasing the maximum power of the inverter, taking into account the existing element base, it becomes quite obvious that the design of high-power inverters to obtain high performance without load distribution on the flows is very difficult. One of the most important tasks of the organization of parallel operation of inverters is to ensure a uniform distribution of currents between the cells of inverters, they must be synchronized in all parameters (phase, frequency and amplitude). Synchronization must be operational in any modes (nominal, transient and emergency). The uniform distribution of the load current across the inverter cells depends on the phase shift of the output voltages caused by the non-synchronicity of the voltage frequencies generated at the outputs of the inverter cells. An imbalance of one degree between the phases of the output voltages of the two cells leads to a redistribution of power, which can reach over fifty percentages. If the output voltage of one cell shifts forward in phase, then it takes over most of the power of the total load, which in the case of the same output voltage amplitudes will indicate an increase in the current consumption of the leading cell. To ensure the energy balance of the two cells, it is necessary to adjust just the frequency of the output voltage of the cell with the leading phase. This balancing should occur with high speed.

Keywords: power conversion, inverter, phase shift, high speed, distribution, parallel connection, transistors, synchronization.

Introduction

At which phase shift the power is most efficiently transferred to the load. Since the power conversion cell works in the key mode for high efficiency, and an LC filter is used to obtain a sinusoidal voltage, then in the limit at the point of summation of the CPS with a choke at the output, we represent a sinusoidal source.

In [1], various structures of parallel switching circuits of inverters with the following features are given:

- The phase of the inverter is formed from a series of parallel-connected power conversion cell (PCC) controlled by a single controller. All power transistors are passively locked by their own gate resistor. The connection of the AC and DC circuits is symmetrical.

- Parallel connection of inverters with integrated control circuit boards. The spread of the parameters of the power circuits leads to the need to combine the outputs of inverters through equalizing chokes.

- Parallel connection of inverter units with a common DC bus, where inverters have a dedicated control board that operate from a single PWM controller. Due to the spread of the time characteristics of the control circuits for combining PBX outputs, it is very likely that equalizing inductors are introduced into the power part.

- Parallel connection of inverters and a single PWM and an additional measurement of the distribution of output currents of inverters, however, this ideology differs in a rather complex control scheme.

- Subordinate regulation, which ensures high reliability, in which the control board has a common input and several isolated output channels. Each channel has its own inverter. In this case, equalizing chokes can be excluded – the failure of one of the inverters does not affect the operation as a whole.

- Complete galvanic isolation at the input or output of parallel inverters with independent control boards. The modular principle of construction of inverter units has been widely used for many years in uninterruptible power supply systems.

This allows, if necessary, to increase the power of the system by increasing the number of consumers and the necessary redundancy of the system on the principle of “ $n+x$ ”. Uniform distribution of currents between modules refers to one and difficult tasks and, in general, is ensured by matching the output characteristics of the modules: voltage rating and internal resistance.

Materials and methods

A large number of works have been devoted to parallel switching on the output of single-phase inverters and many foreign manufacturers have established serial production of three-phase inverters with module power up to several tens of kilowatts, using an independent system synchronization principle from any of the inverters included in it [2]. At the moment, the task of load separation of inverter units is most fully solved in industrial uninterruptible power supply (UPS). Figure 1 shows the application of parallel switching of inverters in the structure of an uninterruptible power supply.

The number of modules connected to the load in parallel can be reached with information communication between the modules, both via a digital bus,

and with a combination of analog and digital signals in the bus. When a backup module is connected, the module is identified, and if the system is in good condition, this module is connected by the system to the load and takes on a proportional part of the load current [3].

If one module fails, the system disables its load buses. As a result, the faulty inverter is switched off without disrupting the performance of the entire system.

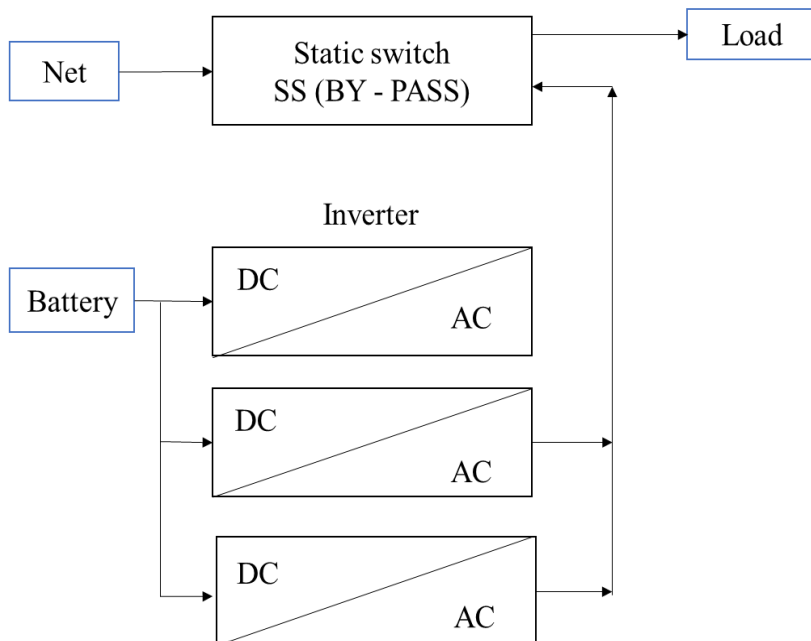


Figure 1 – Parallel inclusion of inverter blocks in the UPS

The most widely developed control of modules is based on the subordinate principle of «master-slave». With this control method, there is no redundancy of the master inverter that synchronizes the operation of the «slave» inverters. In addition, the use of a common switching unit and uniform distribution of load current is required. All this reduces the fault tolerance of the system as a whole.

A distinctive feature of a multimodule system is redundancy, which provides increased reliability of the system due to: backup power modules and backup battery modules [4]. During the operation of the system, a «hot swap of modules» is possible (modules can be replaced promptly during the operation of

the system). A malfunction of one of the modules leads to its automatic shutdown, while the operability of the entire system is not disrupted. When installing a new module, a self-diagnosis of its condition is carried out and its inclusion in operation. However, with a zero phase shift of inverters, certain technical difficulties in organizing parallel operation of inverters are noted in the literature.

As shown earlier, the main problem with parallel switching of cells is the uneven distribution of currents between cells caused by the spread of internal parameters of inverters, so, for example, different frequencies of the output voltages of the inverter lead to distortion of the voltage form in the form of beats. The literature describes solutions that provide parallel operation of inverters in terms of synchronization of the initial phases of the inverter, current amplitudes and voltage frequency [5]. It should be noted that the described methods consider the formation of voltage at the output of an inverter with a low content of higher harmonics [6].

In the presence of a phase shift, we also proceed from the position that for high efficiency the SPA operates in the key mode, and an LC filter is used to obtain a sinusoidal voltage. PWM methods are used to regulate the output voltage. In this case, the reference signal is taken as a single one, and the sawtooth signal of each cell with the corresponding phase shift, so each cell operates with its own phase of PWM signals [7].

Figure 2 shows an equivalent scheme for this case. Due to the phase shift of the control voltage, PWM regulation of each cell is obtained.

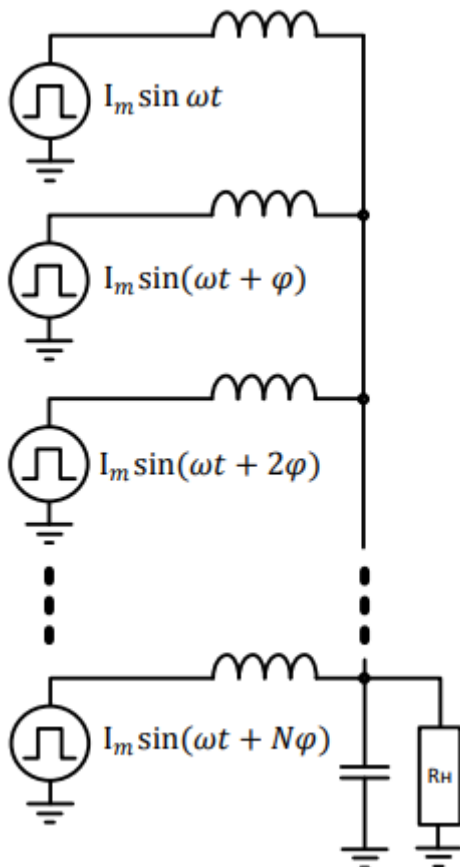


Figure 2 – Diagram of a multicellular inverter by summing the cell current and a non-zero phase shift

The principle of formation is as follows: the sequence of output pulses of each CNN is formed on the basis of a single reference sinusoidal signal and a sawtooth voltage with its own phase shift of each cell, Figure 3.

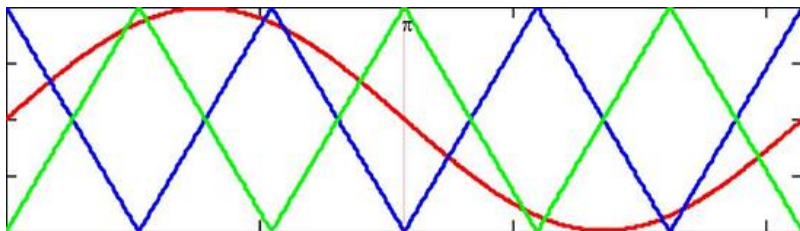


Figure 3 – Modulator input signals with a single reference signal and sawtooth voltage with uniform shift

Figure 4 shows the voltages for two consecutive NPS, and Figure 5 shows the total output voltage of the power cascades of the cells. By increasing the number of sawtooth signals and the number of cells, it is possible to achieve a significant reduction in the switching frequency of transistors with a relatively high frequency of the formation of output voltage fronts [8]. However, with such control, currents occur that bypass the load, which significantly reduces the efficiency of power transmission to the load. To show this, let's consider the current circuits arising from such control.

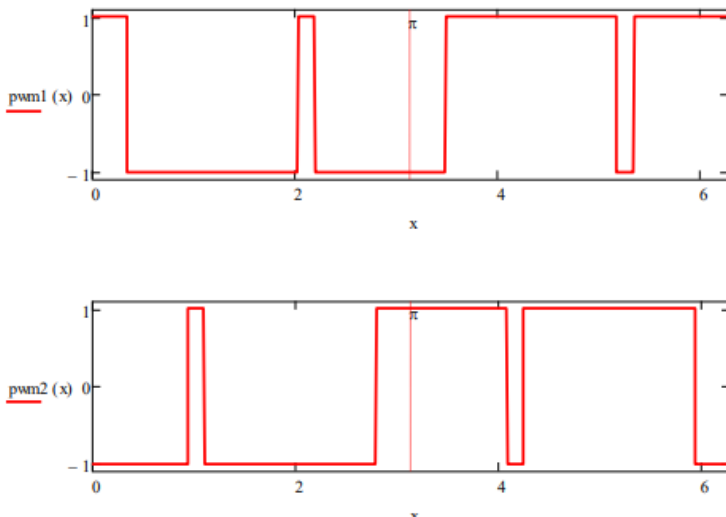


Figure 4 – Formation of switching moments of transistors of each cell

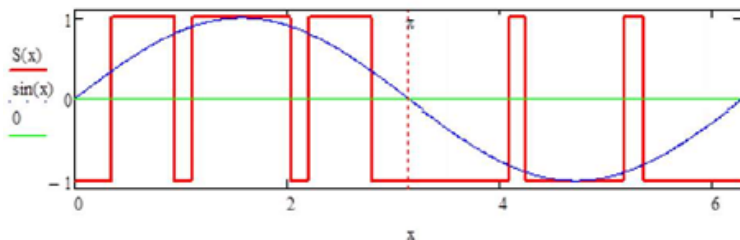


Figure 5 – Voltage form at the input of the power filter

In [9] various circuit design options for constructing a power transformer cell are given. Analysis of the literature allows us to conclude that the most functionally suitable structure with a minimum of switching elements is a half-bridge power converter cell.

Results and discussion

The schematic diagram of a multicellular inverter with parallel connection of half-bridge PCC to a DC voltage source is shown in Figure 6. Consider the possibility of using a phase shift of the inverter cells to form an approximated sinusoidal output voltage. The difference from the traditional scheme of parallel switching of inverters is the synchronized shift of the initial phase of the inverter cells [10].

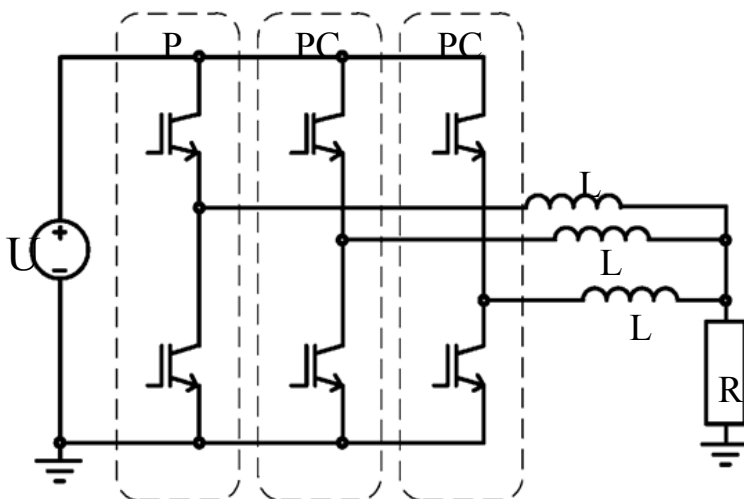


Figure 6 – Diagram of a simulated inverter with a three-level output voltage

In accordance with the schematic diagram, a computer model has been developed to study the processes occurring in the inverter. As an example, an inverter consisting of three cells forming a three-level voltage with a uniform phase shift is taken.

The simulation results are shown in Figure 7-8. The results obtained show the shape of the low-quality output voltage and the corresponding spectral composition. However, when considering the current distribution graphs, the problem of the occurrence of current flow circuits bypassing the load becomes obvious.

Consider the switching of keys with the intersection of the inclusion of the upper and lower keys of the inverter cells for the occurrence of currents flowing bypassing the load.

From the above current flow diagrams, it can be seen that current flow circuits bypassing the load can occur in the circuit when any combination of the upper and lower keys of the inverter is turned on simultaneously.

One of the possible options for eliminating bypass circuit currents is the introduction of an additional transistor rack and differentiation of the operation of the lower and upper keys of the inverter cells.

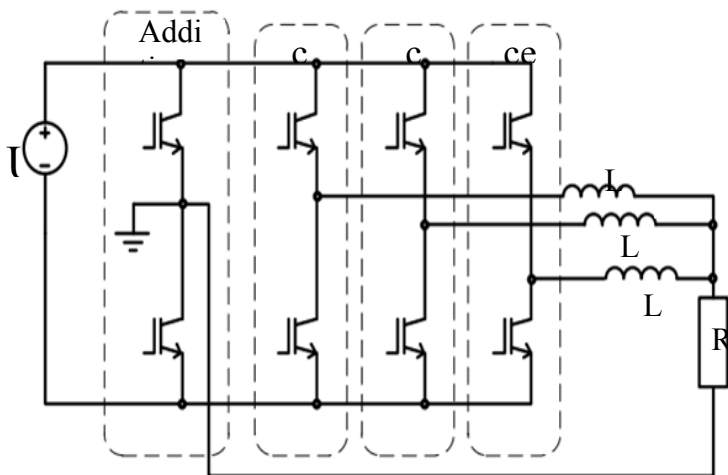


Figure 7 – Block diagram with additional rack

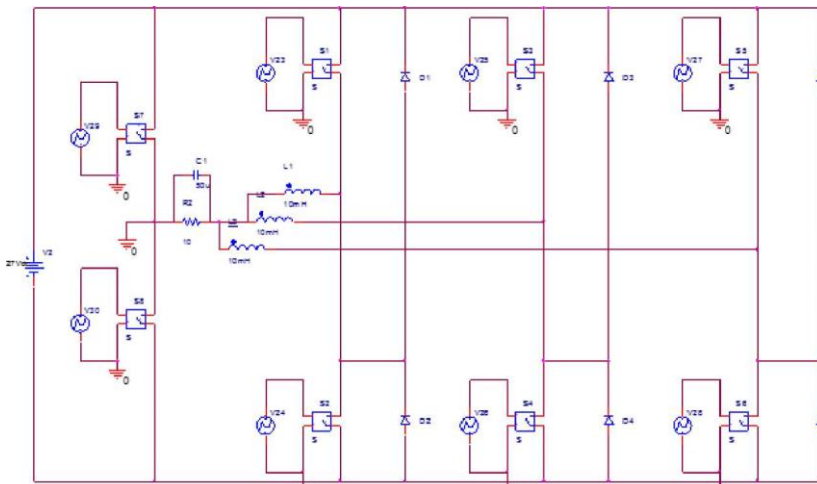


Figure 8 – Diagram of a model of a three-level voltage inverter with switching of the upper and lower keys separately

The simulation results are presented in Figures 9, 10.

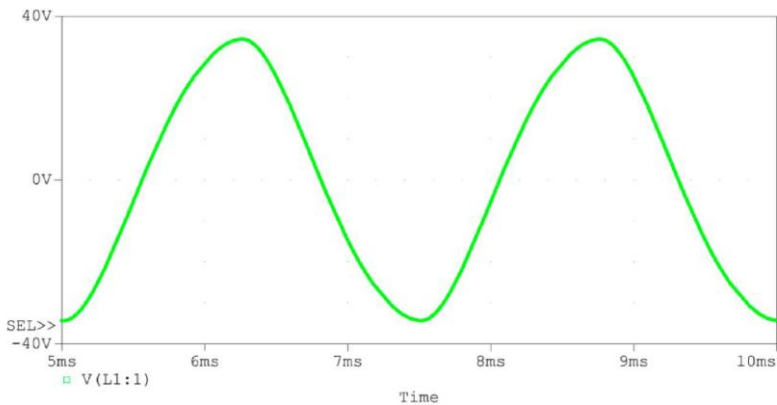


Figure 9 – The form of the output voltage of the inverter with an additional rack

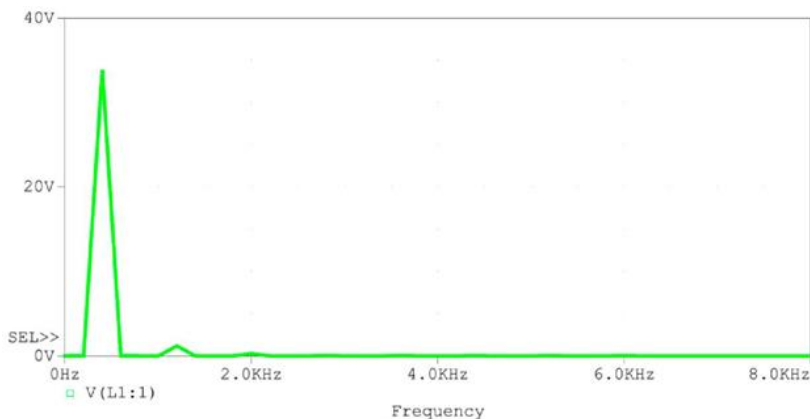


Figure 10 – Spectral composition of the output voltage of an inverter with an additional rack

The disadvantage of this scheme is an incomplete load distribution between the cells of the inverter.

In the case of a uniform phase shift of the inverter cells, the load current on a single inverter cell can reach the full load current. Such a scheme becomes irrelevant, despite the possibility of forming an output step voltage.

Conclusion

In this article, the methods of constructing a multicellular inverter with summation of the PCC currents are considered and the following results are obtained:

1. The analysis of existing solutions has shown that for a multicellular inverter, the most appropriate scheme of construction is a half-bridge scheme of the PCC.

2. An analytical expression has been obtained showing that, with parallel operation of the NPS, the maximum power is transferred to the load at zero phase shift.

3. A study of existing solutions has been conducted, it has been shown that ensuring the operation of a zero phase shift joint venture requires significant costs for the organization of management and complication of circuit solutions, compared with the operation of a phase shift joint venture.

4. A computer simulation of a multicellular inverter with summation of CPS currents and linear phase shift with different types of key switching was carried out, results for comparative analysis were obtained.

5. It is shown that when summing up the currents of the CNR and the two-stroke switching of the CNR, the occurrence of current flow circuits is possible,

bypassing the load, with single-stroke switching of the CNR, full loading of cells is impossible, which significantly reduces the efficiency of such inverters.

REFERENCES

1 **Y. Jiang, M. Wang, D. Wang and Q. Li**, "Research on Circulating Current Generation Mechanism of Parallel Multilevel Inverters", 2021 International Conference on Control Science and Electric Power Systems (CSEPS), Shanghai, China, 2021, pp. 287-290, doi: 10.1109/CSEPS53726.2021.00063.

2 **Pragya Gawhade, Amit Ojha**. Recent advances in synchronization techniques for grid-tied PV system: A review. Energy Reports. Volume 7. 2021, Pages 6581-6599, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.006>.

3 **Mohammad Bani Shamsheh, Teruo Yoshino, Atsuo Kawamura**. EEJ Journal of Industry Applications Vol.6 No.4 pp.258–267 DOI: 10.1541/ieejia.6.258.

4 Geddam Kiran Kumar, Devaraj Elangovan. Review on fault-diagnosis and fault-tolerance for DC–DC converters. 01 January 2020 <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2019.0672>.

5 Mingshen Li, Baoze Wei, Jose Matas, Josep Maria Guerrero, and Juan Carlos Vasquez. Advanced Synchronization Control for Inverters Parallel Operation in Microgrids Using Coupled Hopf Oscillators. CPSS TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS AND APPLICATIONS, VOL. 5, NO. 3, SEPTEMBER 2020.

6 Voltage harmonic injection angle optimisation for grid current harmonics using a PV converter. Ioannis D. Bouloumpasis, Panagis N. Vovos, Konstantinos G. Georgakas. First published: 17 July 2019 <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2018.5608>

7 Prabakaran N., Arun V., Sanjeevikumar P., Mihet-Popa L., Blaabjerg F. Reconfiguration of a Multilevel Inverter with Trapezoidal Pulse Width Modulation. Energies 2018, 11, 2148. <https://doi.org/10.3390/en11082148>.

8 **Zhusubaliyev, Z.T., Mosekilde, E., Andriyanov, A. I., Mikhal'chenko, G. Y.** High-Feedback Operation of Power Electronic Converters. Electronics 2013, 2, 113-167. <https://doi.org/10.3390/electronics2020113>.

9 **L. Li, G. Xu, D. Sha, Y. Liu, Y. Sun and M. Su**, "Review of Dual-Active-Bridge Converters With Topological Modifications," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 38, no. 7, pp. 9046-9076, July 2023, doi: 10.1109/TPEL.2023.3258418.

10 Gurugubelli V., Ghosh, A., Panda A.K. Parallel inverter control using different conventional control methods and an improved virtual oscillator control

method in a standalone microgrid. Prot Control Mod Power Syst 7, 27 (2022).
<https://doi.org/10.1186/s41601-022-00248-9>.

***С. М. Манат, В. В. Югай**
Карагандинский технический университет имени Абилкаса
Сагинова, Республика Казахстан, Караганда
manatsymbat20@gmail.com

АНАЛИЗ СХЕМ С ОДНОРОДНЫМ СДВИГОМ ФАЗ ИНВЕРТОРНЫХ ЯЧЕЙОК

В статье рассмотрены методы построения инвертора с суммированием токов ячеек преобразователя мощности. Проведено компьютерное моделирование предложенных схем распределения тока нагрузки многоячеечного инвертора со сдвигом фаз ячеек. При рассмотрении задачи повышения максимальной мощности инвертора с учетом существующей элементной базы становится совершенно очевидным, что проектирование мощных инверторов для получения высоких характеристик без распределения нагрузки по потокам весьма затруднительно. Одной из важнейших задач организации параллельной работы инверторов является обеспечение равномерного распределения токов между ячейками инверторов, они должны быть синхронизированы по всем параметрам (фазе, частоте и амплитуде). Синхронизация должна работать в любых режимах (номинальном, переходном и аварийном). Равномерное распределение тока нагрузки по ячейкам инвертора зависит от сдвига фаз выходных напряжений, вызванного несинхронностью частот напряжений, формируемых на выходах ячеек инвертора. Дисбаланс в один градус между фазами выходных напряжений двух ячеек приводит к перераспределению мощности, которое может достигать более пятидесяти процентов. Если выходное напряжение одной ячейки смещается вперед по фазе, то оно берет на себя большую часть мощности общей нагрузки, что в случае одинаковых амплитуд выходного напряжения будет свидетельствовать об увеличении тока потребления ведущей ячейки. Для обеспечения энергетического баланса двух ячеек необходимо регулировать частоту выходного напряжения ячейки с опережающей фазой. Эта балансировка должна происходить с высокой скоростью.

Ключевые слова: преобразование мощности, инвертор, фазовый сдвиг, высокая скорость, распределение, параллельное соединение, транзисторы, синхронизация.

***С. М. Манат, В. В. Югай**

**Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды**
manatsymbat20@gmail.com

ИНВЕРТОР ҰЯШЫҚТАРЫНЫҢ БІРТЕКТІ ФАЗАЛЫҚ ЫҒЫСУ СХЕМАЛАРЫН ТАЛДАУ

Мақалада түрлендіргіштегі ұяшық токтарын қосатын инверторды құру әдістері қарастырылған. Ұяшықтардың фазалық ығысуы бар көп ұяшықты инвертордың жүктеме тогын бөлудің ұсынылған схемаларын компьютерлік модельдеу жүргізілді. Қолданыстағы элементтер базасын ескере отырып, инвертордың максималды қуатын арттыру мәселесін қарастырған кезде, жүктемені ағындарға таратпай жоғары өнімділікті алу үшін күшітік инверторларды жобалау өте қиын екендігі айқын болады. Инверторлардың параллель жұмысын ұйымдастырудың маңызды мәселелерінің бірі - инвертор ұяшықтары арасында токтардың біркелкі таралуын қамтамасыз ету, олар барлық параметрлер бойынша (фаза, жиілік және амплитуда) синхрондалуы керек. Синхрондау кез келген режимде жұмыс істеуі керек (номиналды, өтпелі және апаттық). Инвертор ұяшықтары бойынша жүктеме тогының біртекті таралуы инвертор ұяшықтарының шыға берісінде пайда болатын кернеу жиіліктерінің синхрондалмауынан туындаған шығыс кернеулерінің фазалық ығысуына байланысты. Екі ұяшықтың шығыс кернеуінің фазалары арасындағы бір градус болатын дәрежедегі теңгерімсіздік қуаттың қайта бөлінуіне әкеледі, ол елу пайыздан асады. Егер бір ұяшықтың шығыс кернеуі фаза бойынша алға жылжитын болса, онда ол жалпы жүктеме қуатының көп бөлігін алады, бұл шығыс кернеуінің амплитудасы бірдей болған жағдайда жетекші ұяшықтың тұтыну тогының жоғарылауын көрсетеді. Екі ұяшықтың энергетикалық балансын қамтамасыз ету үшін озық фазасы бар ұяшықтың шығыс кернеуінің жиілігін реттеу қажет. Бұл теңгерім жоғары жылдамдықпен жүруі керек.

Кілтті сөздер: түрлендіру, инвертор, фазалық сдысу, жоғары жылдамдық, таралу, параллель байланыс, транзисторлар, синхрондау.

FTAMP 621.341.572

К. Н. Тайсариева, *Г. С. Джобалаева, Н. Т. Исембергенов, К. Б. Мүсілімов, А. Е. Кутгыбаева

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: g.jobalaveva@satbavev.university

МУЛЬТИ ДЕҢГЕЙЛІ ИНВЕРТОРДАҒЫ КӨП ДЕҢГЕЙЛІ (SPWM) СИНУСОИДАЛЫ ИМПУЛЬСТІК ЕНДІК МОДУЛЯЦИЯСЫ

Бұл ғылыми мақалада тұрақты кернеудің айнымалыға түрлендіру әдістері көпдеңгейлі модуляция (MLM) және ендік-импульсті модуляциялар (PWM) қарастырылады. Қуат желісінен электр энергиясын минималды тұтыну критерийі бойынша алгоритмді оңтайландыру процесі сипатталған. Әзірленген алгоритмді қолдана отырып, көп деңгейлі инвертор жүйесін модельдеу нәтижелері келтірілген. Көп деңгейлі синусоидалы ендік-импульстік модуляцияны белгілі алгоритмдермен қолдану нәтижелерін салыстыру ұсынылған шешімдердің жоғары тиімділігін көрсетті THD төмендеуі және көп деңгейлі инвертордың жоғары энергетикалық өнімділігін қамтамасыз ету. Синусоидалы PWM әдісінің мәні инвертор кілттерімен бір уақытта коммутациядан бас тарту және әрқайсысы негізгі кернеу векторының белгілі бір кеңістіктік орнына сәйкес келетін бірнеше, алдын ала таңдалған инвертор күйлері арасындағы коммутацияға көшу болып табылады. Синусоидалы заңға сәйкес импульстік ендік модуляциясының әр түрлі типтерін қалыптастыру кезіндегі шығыс керенуінің спектрі мен сапа деңгейін салыстыру талданады. Бұл шығыс керенуінің сапасын қалай жақсартуға болатынын көрсетеді. Бұл мақалада зерттеулер «Жіілік ауысуы жоғары және жоғары кернеуді түрлендіру коэффициенті бар инвертормен қос мақсатты байланыстыратын біріктірілген мультикоптер платформасын жасау» гранттық қаржыландыру тақырыбы бойынша жасалған.

Кілтті сөздер: инвертор, көпдеңгейлі модуляция, мультидеңгейлі, THD, PWM әдісі, көпдеңгейлі.

Кіріспе

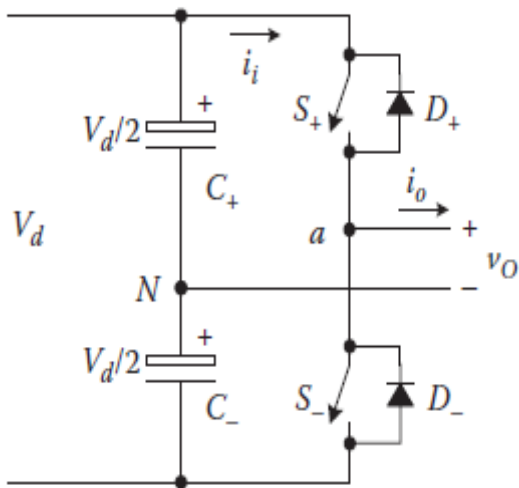
Қазіргі уақытта тұрақты кернеуді айнымалы кернеуге түрлендірудің екі категорияға бөлуге болады: көпдеңгейлі модуляция (MLM)

және ендік-импульсі модуляция (PWM). Әр категория көптеген электрлік сұлбалардан тұрады, бұл осы модуляцияны жүзеге асырады. Ендік – импульсті модуляцияны (ЕИМ) қолданып әртүрлі инверторларды жобалауға болады, мысалы (CSI) ток көзі инверторлары, (ZSI) кедергі көзінің инверторлары, (VSI) кернеу көзінің инверторы, көпсатылы PWM-инверторлар.

Көп деңгейлі инвертор-бұл бірнеше тұрақты ток көздерінен шығатын синусоидалы кернеуді синтездейтін қуатты электронды жүйе. Бұл тұрақты ток көздері батареялар, күн батареялары, ультра конденсаторлар және т. б. болуы мүмкін. Көп деңгейлі инверторлардың негізгі идеясы-коммутаторларды қолдана отырып, синусоидалы кернеу мен Шығыс тогын жақсарту. Көптеген қосқыштар тізбектей қосылғандықтан, ауысу бұрыштары көп деңгейлі инверторларда маңызды, өйткені барлық қосқыштар шығыс кернеуі мен токтың гармоникалық бұрмалануы төмен болатындай етіп ауысуы керек[1].

Материалдар мен тәсілдер

Әр түрлі ЕИМ түрлендіргіштерінің негізгі қуат тізбектері ұқсас болуы мүмкін. Олардың арасындағы айырмашылық-қуат көзінің немесе желінің түрі. 1 суретте бірфазалы жартылай көпірлік ЕИМ – инвертор көрсетілген.



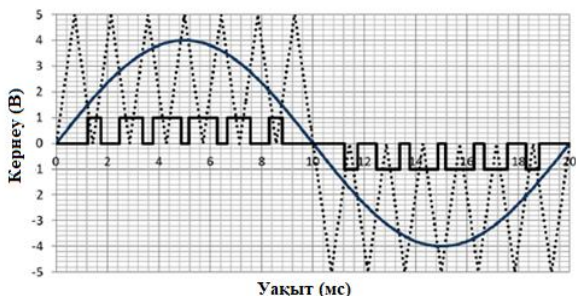
Сурет 1 – Бірфазалы жартылай көпірлік инвертор

Бірфазалы жартылай көпірлік инвертор 1 суретте көрсетілген. V_d - тұрақты кернеу көзі. N нейтралды нүктені орнату үшін екі үлкен конденсатор қолданылады. Айнымалы токтың шығыс кернеуі a нүктесінен

Не дейын V_{AO} , ал оның негізгі компоненті $(V_{AO})_1$. $(V_{AO})_1$ максималды амплитуданы көрсету үшін $(V_{AO})_1$, деп белгілеу керек. Кіріс (басқару) және үшбұрыш сигналының сигналдары және ЕИМ импульстік реттілік спектрі [2].

Егер тұрақты токтың кіріс сигналының максималды амплитудасы $(V_{AO})_1$ аз немесе кернеудің жартысына $\frac{V_d}{2}$ тең болса, ал m_a модуляциясының қатынасы бірден аз немесе оған тең. Бұл кезде $(V_{AO})_1$ негізгі компоненті шығыстағы айнымалы кернеу кіріс кернеуіне пропорционал болады. ЕИМ амплитудасы импульстік модуляциядан (АИМ) және импульсті фазалы модуляция (PPM) ажыратылады. ЕИМ-да барлық импульстар өзгермейтін амплитудасы мен фазасы бар реттелетін енге ие болады. Сәйкес сұлба импульстік модуль деп аталады. Импульстік фазалық модуляция да болуы мүмкін бірақ бұл ыңғайлы емес. Импульстік амплитудалық модуляция тұрақтыны айнымалыға түрлендіру үшін жарамсыз, өйткені кіріс кернеуі әдетте тұрақты кернеу болып табылады. ЕИМ-да жұмыс істегенде, барлық алдыңғы импульстік фронттар импульс кезеңінің басынан басталады және олардың артқы фронты реттеледі. Синусоидалы импульстің ені модуляциясы (SPWM) толқын формасында THD-ді азайта алады, әр жарты периодта әр түрлі импульс ені болады [1]. Синус толқынының амплитудалық кернеуі модуляция үшін негізгі кернеу V_{in} болып табылады. Үшбұрыштың сигнал амплитудасы модуляция үшін тасымалдаушы кернеу V_{tri} болып табылады. Шығыс жиілігі 50 Гц SPWM-нің 2 суретте мысалы көрсетілген. Бұл мысал үшін M_a 0.8, яғни айнымалы токтың Шығыс кернеуінің *r.m.s* мәні тұрақты кернеу көзінен 0,8 құрайды. M_f шығыс жиілігінің бүйірлік жолақтарын анықтайды. Мысалы, M_f суретте 14 тең, модуляция теориясына сәйкес шығыс формасының бірінші гармоникалары 13 және 15, содан кейін 27 мен 29 т.с.с. [3].

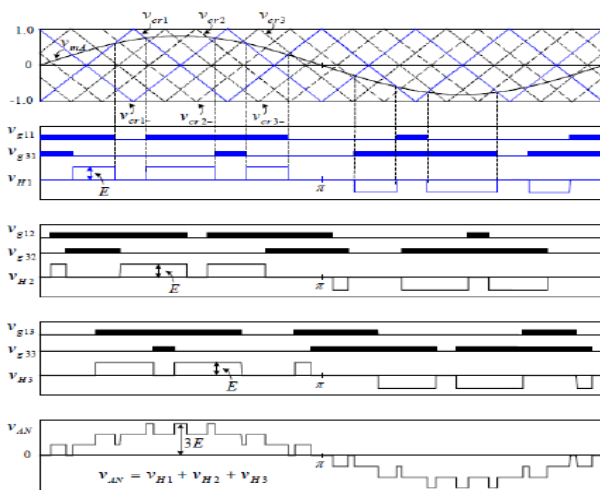
THD – ді көпдеңгейлі инверторды қолдану арқылы немесе пассивті немесе активті фильтрлер қолдану арқылы азайтуға болады. Алайда M_f ұлғайтудың артықшылығы сүзгінің көлемін кішірейтуге болады. Импульстардың Шығыс тізбегі бірдей амплитудасы мен ені әртүрлі импульстарға ие, бұл іріктеу сәттеріндегі кіріс сигналына сәйкес келеді.



Сурет 2 – Синусоидалы ендік – импульстік модуляция (SPWM)

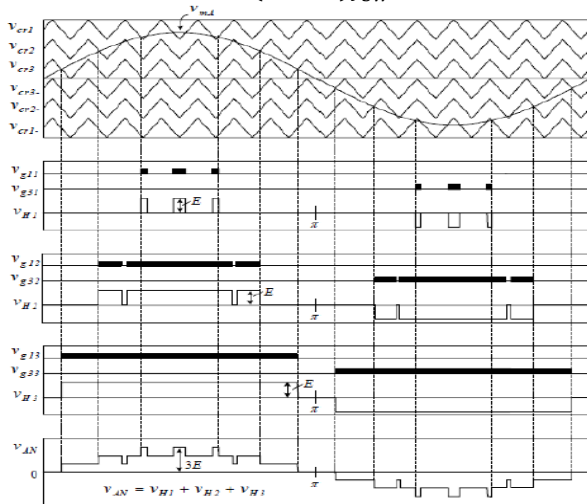
Көп деңгейлі синусоидалы импульстік ендік модуляциясы (ЕИМ) үшбұрышты тасымалдаушылары бар классикалық SPWM-ге негізделген. Бір әдіс бірнеше тасымалдаушы сигналдардың фазалық ығысуын қолданады [4; 5]. 3-сурет бұл әдісті жеті деңгейлі каскадты көп деңгейлі инверторда көрсетеді [6].

Фазалық ығысу бұрышы $\frac{360^\circ}{(m-1)}$ тен. Басқа әдіс бірнеше тасымалдаушы сигналдардың кернеу ығысуын пайдаланады. Бұл әдіс 4 суретте жеті деңгейлі инверторда көрсетілген. m дәрежелі инвертор үшін тасымалдаушылар саны $(m-1)$.



Сурет 3 – Жеті деңгейлі инвертордағы бірнеше тасымалдаушы сигналдардың фазалық ығысуын қолданатын көп деңгейлі SPWM

Жоғарыда аталған екі деңгейлі SPWM көмегімен төменгі ретті гармоника $(m - 1)f_{sw}$ - ге жақындайды, мұндағы f_s -жартылай өткізгіштік құрылғылардың ауысу жиілігі.Басқаша сөзбен айтқанда, инвертордың ауысуының эквивалентті жиілігі $(m - 1)f_{sw}$ [7].



Сурет 4 – Жеті деңгейлі инвертордағы бірнеше тасымалдаушы сигналдардың кернеу ығысуын қолданатын көп деңгейлі SPWM

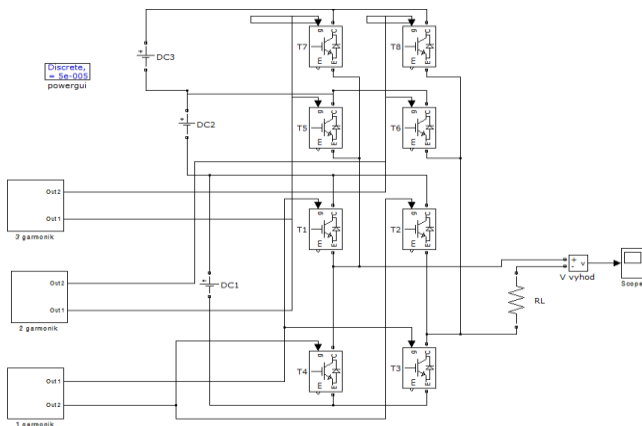
Нәтижелер мен талқылау

Бірфазалы ЕИМ инверторды зерттеу үшін Matlab бағдарламасында үш, төрт, бес, алты деңгейлі модельдер жасалды. Әр деңгейде синусоидалы толқын пішінінің аралығына байланысты өзгертін тікбұрышты импульстар пайда болады. Жүктемеге сәйкес біз синусоидаға жақын кернеуді аламыз.

5-суретте үш сатылы транзисторлық түрлендіргіш көрсетілген. Түрлендіргіш келесідей жұмыс істейді, T_1, T_2, T_3 және T_4 транзисторларынан түзілген көпір түрлендіргішінің 1 тізбегі бірінші кернеудің E_1 көзіне қосылған. t_1 уақытында T_1 және T_4 транзисторлары ашылады және кернеудің E_1 көзінен үздіксіз ток T_1 транзисторлары арқылы жүреді, R_n және T_4 жүктемелері арқылы өтеді (транзисторлар арқылы тұрақты ток және жүктеме бағыты үздіксіз бағытамамен көрсетіледі).

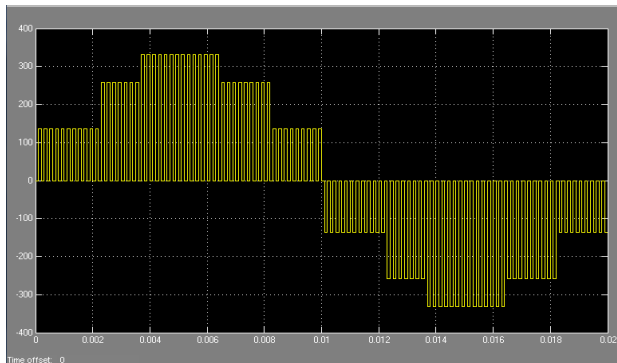
Біраз t_2 уақыттан кейін T_6 транзисторы ашылып, екінші тұрақты токтың E_2 көзінен үздіксіз ток T_1 транзисторлары, R_n және T_6 заряды

арқылы өтіп, жүктемедегі кернеудің екінші сатысын құрайды. t_3 уақытында кернеуді қалыптастыру үшін T_8 транзисторы ашылады және E_3 көзінен тұрақты ток T_1 транзисторлары, R_n және T_8 жүктемелері арқылы өтеді [7-9].



Сурет 5 – Үш деңгейлі ЕИМ түрлендіргіш

Жүктеме негізінде біз шығыс кернеуін тікбұрышты пішіндерін аламыз.



Сурет 6 – ЕИМ түрлендіргіштің шығыс кернеуі

```

Sampling time = 5e-005 s
Samples per cycle = 400
DC component = 0.3387
Fundamental = 338.1 peak (239.1 rms)
Total Harmonic Distortion (THD) = 19.25%

Maximum harmonic frequency
used for THD calculation = 9950.00 Hz (199th harmonic)
    
```

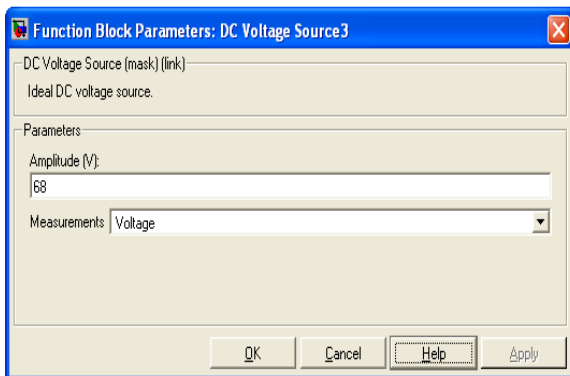
0 Hz (DC):	0.34	90.0°
50 Hz (Fnd):	338.14	0.0°
100 Hz (h2):	0.68	90.0°
150 Hz (h3):	11.94	16.6°
200 Hz (h4):	0.68	90.0°
250 Hz (h5):	22.65	24.7°
300 Hz (h6):	0.68	90.0°
350 Hz (h7):	17.93	8.4°
400 Hz (h8):	0.68	90.0°
450 Hz (h9):	24.27	0.0°
500 Hz (h10):	0.68	90.0°
550 Hz (h11):	33.62	0.0°
600 Hz (h12):	0.68	90.0°
650 Hz (h13):	7.39	20.3°
700 Hz (h14):	0.68	90.0°
750 Hz (h15):	9.69	62.7°
800 Hz (h16):	0.68	90.0°
850 Hz (h17):	14.25	5.1°
900 Hz (h18):	0.68	90.0°
950 Hz (h19):	8.98	0.0°
1000 Hz (h20):	0.68	90.0°
1050 Hz (h21):	11.68	0.0°
1100 Hz (h22):	0.68	90.0°
1150 Hz (h23):	10.16	5.3°
1200 Hz (h24):	0.68	90.0°
1250 Hz (h25):	7.55	55.2°
1300 Hz (h26):	0.68	90.0°
1350 Hz (h27):	9.09	3.4°
1400 Hz (h28):	0.68	90.0°
1450 Hz (h29):	6.45	0.0°
1500 Hz (h30):	0.68	90.0°
1550 Hz (h31):	3.39	0.0°
1600 Hz (h32):	0.68	90.0°
1650 Hz (h33):	8.73	0.0°
1700 Hz (h34):	0.68	90.0°
1750 Hz (h35):	7.88	17.2°
1800 Hz (h36):	0.68	90.0°
1850 Hz (h37):	4.36	8.0°
1900 Hz (h38):	0.68	90.0°
1950 Hz (h39):	4.44	0.0°

Сурет 7– Үш деңгейлі ЕИМ түрлендіргішінің спектрлік талдау бағдарламасы

Спектрлік талдау нәтижелері шығыс кернеуінде 5, 9, 11-ші гармоника бар екенін көрсетеді, олардың амплитудасы негізгі гармониканың 5% - дан аспайды. Бұл гармониканың осы құрамымен берілген бір фазалы үш сатылы транзисторлық инверторды қалған параметрлерді үйлестіру арқылы ортақ желіге қосуға болатындығын көрсетеді.

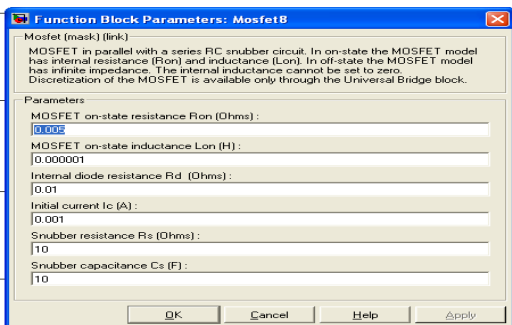
Гармониканың жоғары кернеулері маңызды және оларды инвертор шығысында конденсатор қосылған кезде сүзгілер немесе индуктивті жүктеме арқылы жоюға болады [8; 9; 10].

Әрбір тұрақты кернеу көзі Function block Parameters терезесінде анықталады (8-сурет). Тұрақты көздер кернеу деңгейлердің санын анықтайды және әр деңгейде кернеу мәні сәйкес келеді.



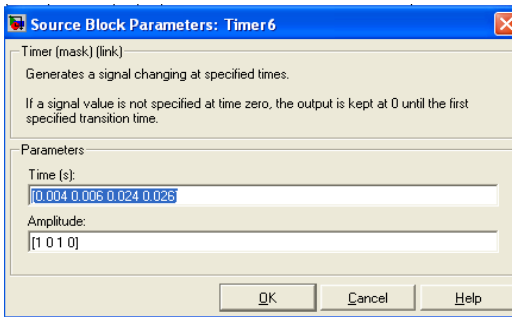
Сурет 8 – Тұрақты кернеу көзі терезесі

t_1 уақыт көпір түрлендіргішінің бірінші жазықтығында ашылған транзисторлар және E_1 көзінің кернеуінен тұрақты ток R_n жүктемесі арқылы өтеді. Таймер транзисторларға қосылған. Транзистордың әр параметрі үшін функционалды блок параметрлері терезесі анықталады (9-сурет).



Сурет 9 – Транзисторлардың параметрлер терезесі

Әрбір транзистор үшін таймер source Block Parameters timer терезесінде орнатылады (10-сурет).



Сурет 10 – Таймер параметрлерін орнату терезесі

Белгілі бір уақыттан кейін екінші деңгей жартылай көпір тізбегіндегі транзисторларды ашылады және тұрақты ток бастап E_2 тұрақты кернеу көзі R_n жүктеме арқылы өтеді.

Көп деңгейлі инвертор-бұл бірнеше тұрақты ток көздерінен шығатын синусоидалы кернеуді синтездейтін қуатты электронды жүйе. Бұл тұрақты ток көздері аккумулятолар, күн батареялары, ультра конденсаторлар және т. б. болуы мүмкін. Көп деңгейлі инверторлардың негізгі идеясы-коммутаторларды қолдана отырып, синусоидалы кернеу мен шығыс тогын жақсарту. Көптеген қосқыштар тізбектей қосылғандықтан, ауысу бұрыштары көп деңгейлі инверторларда маңызды, өйткені барлық қосқыштар шығыс кернеуі мен токтың гармоникалық бұрмалануы төмен болатындай етіп ауысуы керек [9].

Қорытынды

Векторлық ЕИМ қолдану қуат көзін пайдалану пайызын арттыратын әртүрлі басқару алгоритмдерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Каскадты көп деңгейлі инвертор схемасын қолдану басқару алгоритмдерінің икемділігін одан әрі арттырады, өйткені тапсырманы шешу үшін тізбектің негізгі элементтерінің бекітілген күйлерінің бірнеше нұсқаларын қолдануға болады. Көп деңгейлі схемаларды басқарудың күрделі архитектурасы мен алгоритмдері олардың жоғары техникалық және экономикалық тиімділігімен өтеледі.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Ding, K., Ka Wai Eric Cheng, and Y. P. Zou.** "Analysis of an asymmetric modulation method for cascaded multilevel inverters" IET Power Electronics 5, no. 1 (2012): 74–85.

2 **Илипбаева, Л. Б.** Современные методы преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного напряжения // Международная научно-практическая конференция «Информационно-инновационные технологии : интеграция науки, образования и бизнеса». – Алматы, 2008. – С. 143–147.

3 **Грабовецкий, Г. В., Харитонов, С. А., Преображенский, Е. Б., Резниченко, Ф. М., Попов, В. П., Красников, Ю. И., Берестов, В. М.** Некоторые тенденции в развитии приборов и устройства силовой электроники // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 921-923.

4 **Черных, И. В.** Simulink среда создания инженерных приложений. – М. : Диалог - МИФИ, 2004. – 496 с.

5 **Дьяконов, В. П.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения : полное руководство пользователя. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – С. 455–470.

6 **Герман-Галкин, С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учебное пособие. – СПб : КОРОНА, 2001. – 320 с.

7 **Евстифеев, А. В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. – М. : Издательский дом «Додэка XXI», 2008. –45 с.

8 **Исембергенов, Н.Т., Молдахметов С. С., Тайсариева, К. Н.** К вопросу о разработке системы управления силовым инвертором для индукционного нагрева // «STRATEGICZNE PYTANIA SWIATOWEJ NAUKI-2014». – Польша : Przemysl Nauka I studia, 2014. – С. 50–53.

9 **Anjali Krishna, R.** "Dr L Padma suresh "A brief review on multilevel inverter topologies" Conference on Circuit" Power and Computing Technologies [ICCPCT] (2016).

10 **Patel, Purnesh, Rejo Roy, Albert John Varghese, And Satyadharma Bharti** "A Review on Multilevel Inverter Having Switched Capacitor with Reduced Number of Insulated Dc Supplies" (2022).

REFERENCES

1 **Ding, K., Ka Wai Eric Cheng, and Y. P. Zou.** "Analysis of an asymmetric modulation method for cascaded multilevel inverters" IET Power Electronics 5, no. 1 (2012): pp. 74–85.

2 **Илипбаева, Л. Б.** Sovremennyye metody preobrazovaniya solnechnoy energii v elektroenergiyu peremennogo napryazheniya [Modern methods of converting solar energy into alternating voltage electricity] // International

scientific and practical conference "Information and innovative technologies: integration of science, education and business". – Almaty, 2008. – pp. 143–147.

3 **Graboveckij, G. V., Haritonov, S. A., Preobrazhenskij, E. B., Reznichenko, F. M., Popov, V. P., Krasnikov, YU. I., Berestov, V. M.** Nekotorye tendencii v razvitiy priborov i ustrojstva silovoj elektroniki [Some trends in the development of devices and devices of power electronics] // Chemistry in the interests of sustainable development. - 2001. –No. 9. – pp. 921–923.

4 **Chernyh, I. V.** Simulink sreda sozdaniya inzhenernyh prilozhenij [Simulink environment for creating engineering applications] – Moscow : Dialog - MEPI, 2004. – p. 496.

5 **D'yakonov, V. P.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Osnovy primeneniya : polnoe rukovodstvo pol'zovatelya. [MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Fundamentals of application : a complete user's guide] – Moscow : SOLON-Press, 2004. – pp. 455–470.

6 **German-Galkin, S. G.** Komp'yuternoe modelirovanie poluprovodnikovyyh sistem v MATLAB 6.0 : uchebnoe posobie. [Computer modeling of semiconductor systems in MATLAB 6.0 : textbook] – St. Petersburg : KORONA, 2001. – p. 320.

7 **Evstifeev, A. V.** Mikrokontrollery AVR semejstv Tiny i Mega firmy ATMEL [AVR microcontrollers of the Tiny and Mega families of ATMEL] – Moscow : Dodeka XXI Publishing House, 2008. – p. 45.

8 **Isembergenov, N. T., Moldahmetov S. S., Tajsarieva, K. N.** K voprosu o razrabotke sistemy upravleniya silovym invertorom dlya indukcionnogo nagreva [On the development of a power inverter control system for induction heating] // "STRATEGICZNE PYTANIA SWIATOWEJ NAUKI-2014". – Poland : Przemysl Nauka I studia, 2014. – pp. 50–53.

9 **Anjali Krishna, R. "Dr L Padma suresh** "A brief review on multilevel inverter topologies" Conference on Circuit" Power and Computing Technologies [ICCPCT] (2016).

10 **Patel, Purnesh, Rejo Roy, Albert John Varghese, And Satyadharma Bharti** "A Review on Multilevel Inverter Having Switched Capacitor with Reduced Number of Insulated Dc Supplies" (2022).

К. Б. Мүсілімов, А. Е. Кутгыбаева

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

МНОГОУРОВНЕВАЯ СИНУСОИДАЛЬНАЯ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (SPWM) В МУЛЬТИУРОВНЕВОМ ИНВЕРТОРЕ

В данной научной статье рассматриваются методы преобразования постоянное напряжение на переменную, как широтно-импульсная модуляция (PWM) и многоуровневая модуляция (MLM). Описан процесс оптимизации алгоритма по критерию минимального потребления электроэнергии из питающей сети. Приведены результаты моделирования системы многоуровневого инвертора с использованием разработанного алгоритма. Сравнение результатов применения многоуровневого синусоидального широтно-импульсную модуляцию с известными алгоритмами показало высокую эффективность предлагаемых решений в части понижение THD и обеспечения высоких энергетических характеристик многоуровневого инвертора. Суть метода синусоидальной ШИМ состоит в отказе от одновременной коммутации ключами инвертора и в переходе к коммутации между несколькими, заранее выбранными состояниями инвертора, каждое из которых соответствует определенному пространственному положению базового вектора напряжения. Анализируется сравнение спектра и уровня качества выходного напряжения при формировании различных типов импульсной Широтной модуляции в соответствии с синусоидальным законом. Это показывает, как можно улучшить качество напряжения. В этой статье исследование сделано по теме грантового финансирования «Разработка привязной унифицированной мультикоптерной платформы двойного назначения с инвертором с повышенной частотной коммутацией и высоким коэффициентом преобразования напряжения».

Ключевые слова: инвертор, многоуровневая модуляция, мультиуревневая, THD, метод PWM, многоуровневый.

K. N. Taissariyeva, G. S. Jobalayeva, N. T. Issembergenov,

K. B. Mussilimov, A. E Kutybayeva

¹Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev,
Republic of Kazakhstan, Almaty,

MULTI-LEVEL (SPWM)SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION IN MULTI-LEVEL INVERTER

This scientific article deals with DC to AC conversion methods Multilevel Modulation (MLM) and Pulse Width Modulation (PWM). The process of optimization of the algorithm according to the criterion of minimum consumption of electricity from the power network is described. The results of multi-level inverter system modeling using the developed algorithm are given. Comparison of the results of using multi-level sinusoidal pulse-width modulation with well-known algorithms showed the high efficiency of the proposed solutions in reducing THD and ensuring high energy performance of the multi-level inverter. The essence of the sinusoidal PWM method is to simultaneously cancel the switching of the inverter keys and switch between several, pre-selected inverter states, each of which corresponds to a specific spatial location of the main voltage vector. In accordance with the sinusoidal law, a comparison of the spectrum and quality level of output voltage during the formation of different types of Pulse latitude modulation is analyzed. This shows how to improve the quality of the output tension. The research in this article was carried out on the topic of grant funding "Development of an integrated multi-copter platform combining dual purpose with an inverter with high frequency conversion and high voltage conversion ratio".

Keywords: inverter, multi-level modulation, multi-level, THD, PWM method, multi

МРНТИ 44.01.91

***D. T. Tolegenov¹, M. A. Yelubay¹, A. V. Bogomolov¹,
O. Shtyka², D. Zh. Tolegenova³**

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Lodz University of Technology, Republic of Poland, Lodz

³Pavlodar chemical-mechanical college, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

PROSPECTS FOR THE USE OF ENERGY PRODUCTION WASTE IN CONSTRUCTION CERAMICS

This article studies the possibility of the use of red bauxite sludge of JSC "Aluminium of Kazakhstan" and fly ash from energy production of the Pavlodar region in construction ceramics.

Refractory clay from the Kemertuz deposit, located 250 km away from Pavlodar, was used as a binder. The samples were prepared with additives of red mud and a combination of red mud with fly ash from Pavlodar CHP-1, which is a low-calcium variety of acidic ash with a high content of aluminum oxide. These materials were molded by the plastic molding method. The following physicochemical properties of raw materials and obtained samples were studied: (i) air and fire shrinkage, (ii) water absorption, (iii) compressive strength, and (iv) chemical composition.

Based on the obtained results, a comparative analysis of samples with the addition of red mud and a combination of red mud and fly ash was made. This allowed us to determine the optimal composition of ceramic masses and firing process parameters.

Keywords: red mud, fly ash, ceramic materials, Pavlodar CHP-1, energy waste.

Introduction

As is well known, red mud is a solid waste from the process of processing bauxite into alumina. Each year, the world's volume of waste red mud formed in sludge reservoirs increases by several thousand times. The same situation is observed in the case of the Republic of Kazakhstan.

In Kazakhstan, similarly as in other aluminum-producing countries, the problem of recycling red mud waste is of great concern. Up to now, no efficient method of processing red mud has been implemented.

It is common knowledge that the red mud waste stored at sludge facilities, like all other wastes, has a very deleterious effect on human health and the environment in general.

It is worth mentioning that there are a lot of rare and valuable metals in the sludge that could be extracted from the aluminum industry waste, because red mud contains useful components, including rare-earth elements (REE) such as yttrium and scandium, and can be used as a complex raw material [1].

Therefore, the use of red mud as a secondary raw material in production is very promising.

At present red mud has found wide application in building ceramics. Many Lots of scientific effort have been devoted to the application of red mud in the reception of ceramic materials.

For instance, A. Langolf et al [2] investigated the possibility of large-scale processing the red mud into silicate bricks with the use of bauxite sludge from the Pavlodar aluminum plant as a highly dispersed binder. It was found that Bayer slimes due to the aluminous-iron composition and high dispersity, are plastic, and, therefore, they can be used in a mixture with clays for the production of ceramic products. A. Kasenov et al [3] analyzed the wastes of metallurgical companies in the Pavlodar region. They have found that the red bauxite sludge can be used potentially in the building materials, as a binder. The advantages of binders based on bauxite sludge over cement or cement concrete are the lack of rapid setting and delayed hardening processes. The preliminary analysis of the chemical composition of sludge suggests the expediency of its processing with the extraction of iron oxides contained in it. Scientific research has shown that red mud can be used as an additive in agglomeration, pelletizing, and, blast-furnace melting of iron ores. Also, it can be used as a raw, material for iron production, a slag-forming agent for iron and steel refining, as well as a partial substitute for clays in foundry mold making, an additive in the cement and ceramics production, or as, the additive in building bricks and refractories production, as a base for mineral fertilizers [3].

The results are these studies are shown in table 1.

Table 1 - Chemical composition of red sludge

Substance	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
Percentage ratio, %	21	40-45	4	23	1,75	0,27

The following ingredients were used as materials for the production of concrete samples:

- sand GOST 8736 [4];
- portland cement GOST 10178 [5];
- bauxite red mud of the aluminum plant;
- water GOST 23732 [6].

In the course of the research the authors [3] have developed the technology for the production of concrete (figure 1) using bauxite sludge.



Figure 1 – Samples of concrete

The use of red mud in the production of ceramic bricks was studied by the authors and by A. Kasenov [3]. The main raw components and additives that were used in the work are given in table 2.

Table 2 – Chemical composition of raw components

Name of raw material	Oxide content in % per dried substance at 100 °C									
	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ti O ₂	P ₂ O ₅	Mn O	Ca O	Mg O	K ₂ O	Na ₂ O
Novoalexandrovsky loam	69,8	7,2	2,1	0,77	0,070	0,030	7,0	1,9	1,95	0,80
Sludge from the Nikolaev Alumina Refinery	4,1	12,1	59,7	5,7	-	-	7,7	-	-	1,7
sludge from the Zaporozhye aluminum smelter	10,5	16,6	40,7	4,2	-	-	12,1	-	-	6,3
sludge from the K. Liebknecht plant	0,80	0,25	41,0	0,03	0,305	1,6	1,5	1,0	4,6	2,8
Sludge from the Central Aeration Station	23,6	3,8	6,5	0,32	7,0	0,042	5,8	1,1	0,35	0,35
Waste from the Pavlograd WWTP	59,0	17,9	4,4	1,0	0,120	0,025	0,55	1,65	2,8	0,65

Another possibility for the use of red mud is the production of building materials.

Due to its composition and high dispersibility, E. Gruzdeva et al used red mud mixed with clays in the production of ceramic products [7].

To increase the mechanical strength of bricks, red mud was first dried to a residual moisture content of 14-35%. Then the dried sludge was mixed with clay. The resulting mixture with a slurry content of 50-92% and humidity of 18-25% was formed into bricks, dried with gas heated to 70 °C, the resulting bricks fired at 900-1000 °C [7].

L. Pasechnik [8] investigated the possibility of the application of alumina production wastes as raw materials for ferrous and non-ferrous metallurgy. Along with the macrocomponents (wt. %) 44 Fe₂O₃, 16 Al₂O₃, 9.6 CaO, 9.0 SiO₂, 4.6 TiO₂, 3.5 Na₂O, the sludge contains a significant amount of rare and dispersed products. At the same time, the quality of waste iron-enriched sludge for ferrous metallurgy only was significantly improved. The authors stated that preliminary neutralization and activation of the slime by a weak solution of hydrochloric acid allowed to selectively transfer a sufficiently large amount of rare elements, such as yttrium, into a soluble state.

Diagrams of changes in the content of zinc, aluminum, gallium and scandium depending on the alkalinity of solutions are shown in figure 3.

It should be noted that the use of red mud wastes as secondary raw materials in production is of great interest nowadays. Their use in construction ceramics as various additives, binders, etc. is of particular interest. Scientists have proved that materials based on red mud wastes are characterized by high strength, porosity, thermal resistance and other physical and mechanical properties.

Materials and methods

The aim of this work was to study the possibility of application of wastes of chemical and metallurgical complexes of the Republic of Kazakhstan - red mud from JSC "Aluminium of Kazakhstan" and fly ash from Pavlodar CHP-1 as a raw material additive or building ceramics.

Clay rock of the Kemertuz deposit, which is located in the Pavlodar region, was used as the main raw material in this work.

Clays of the Kemertuz deposit have a polymineral composition with a predominance of clay minerals, respectively - kaolinite. Chemical and mineralogical composition of clays Kemertuzsky deposit are presented in tables 3-4.

Table 3 – Chemical composition of clays Kemertuzsky deposit in % by mass

The field	Content, in %								
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Kemertuz a	48,6 0	34,6 0	1,5 0	1,65 0	0,7 0	0,17 0	0,2 7	0,8 0	12,4 0

Table 4 – Mineralogical composition of clays Kemertuzsky deposit

The field	Contents
Kemertuz	Kaolinite Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O prevails

X-ray patterns of clays of the Kemertuz deposit are shown in figure 2.

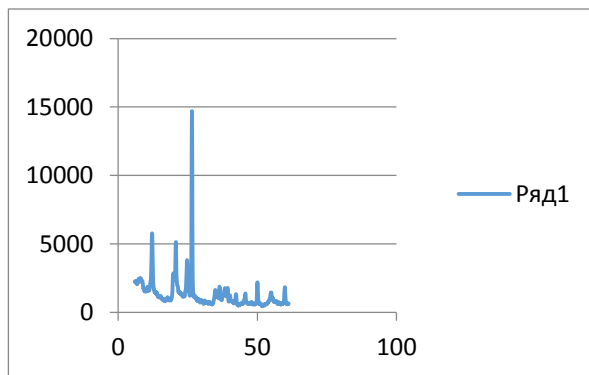


Figure 2 – X-ray diffraction patterns of clays Kemertuzsky deposit

Red sludge chemical composition is mainly represented by oxides of silicon, aluminum, iron and calcium, which account for more than 80% of the mass of the material. According to the chemical analysis (table 5), the waste sludge of alumina production of JSC "Aluminium of Kazakhstan" by the chemical composition is mainly represented by oxides of silicon, aluminum, iron and calcium, which account for more than 80% of the weight of the material.

Table 5 – Chemical composition of bauxite sludge of JSC "Aluminium of Kazakhstan" in % by mass

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
65,98	8,91	1,57	8,37	9,56	1,70	0,15	3,76

To use red mud in technology of ceramic materials it is necessary to have an idea of its behavior during heating [9]. X-ray radiographs of red mud fired at 1000-1100 °C are shown in figure 3.

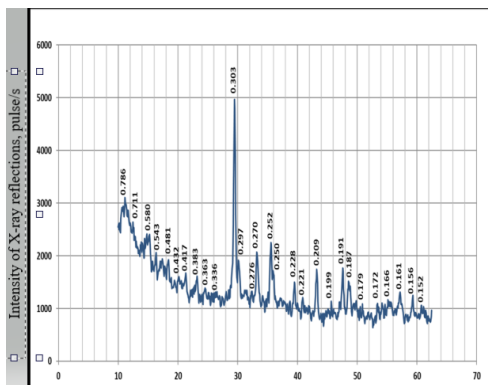


Figure 3 – X-ray diffraction patterns of red mud annealed at 1000-1100 °C

The XRD measurements of red mud identified the presence of the following phases: of red mud is composed of calcite CaCO_3 , two-calcium hydrosilicate ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) and six-calcium tri-carbonate hydro-aluminate $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaCO}_3\cdot 32\text{H}_2\text{O}$. The iron component is represented by hematite Fe_2O_3 and magnetite Fe_3O_4 [10].

Red mud was used as an additive in the amount of 10 to 30%, and CCS was used in combination with fly ash from Pavlodar CHP-1 from 10 to 30% (in equal proportions).

Additives and clay were used with particle size less than 1 mm. Samples were molded by plastic molding method. The dried samples were fired at 1000 - 1100 °C in increments of 50 °C with an end temperature holding time of 2 hours [10]. The results of the obtained samples of clay with red mud and combination of red mud with fly ash are shown in figure 4.

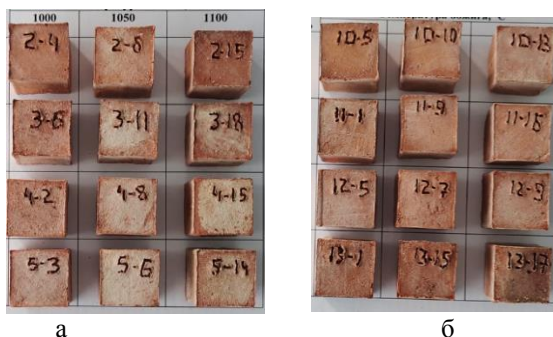


Figure 4 – Appearance of plastic molding samples from a mixture of clay with red mud (a) and a mixture of clay with a combination of red mud and fly ash from Pavlodar CHP-1 (b), fired at 1000-1100 °C

The basic physical and mechanical properties of fired samples, i.e. - shrinkage, volume weight, water absorption and compressive strength, were investigated. The results of physical and mechanical properties of the fired samples with red mud and with a combination of red mud and fly ash from Pavlodar CHP-1 are shown in figure 5-8.

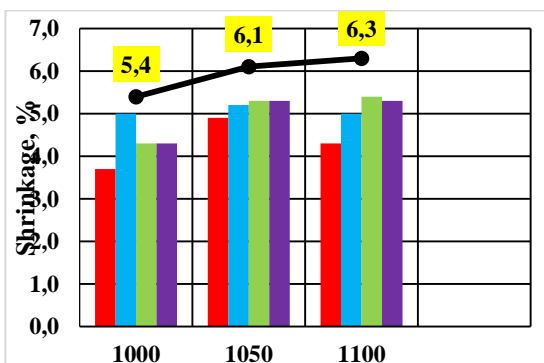


Figure 5 – Results of determining the shrinkage of fired samples with red mud additive

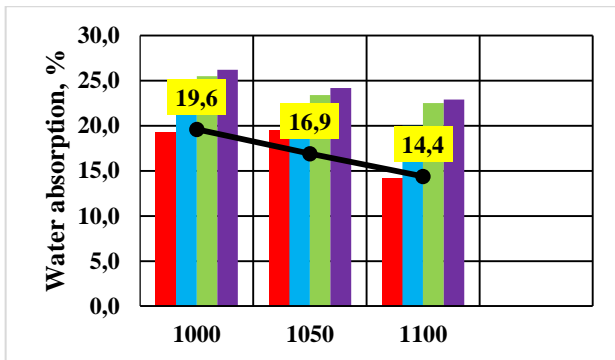


Figure 6 – Results of determination of water absorption of annealed samples with red mud additive

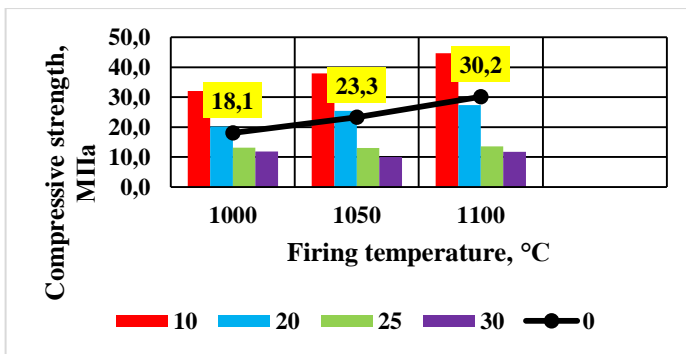


Figure 7 – Results of determining the compressive strength of annealed samples with red mud additive

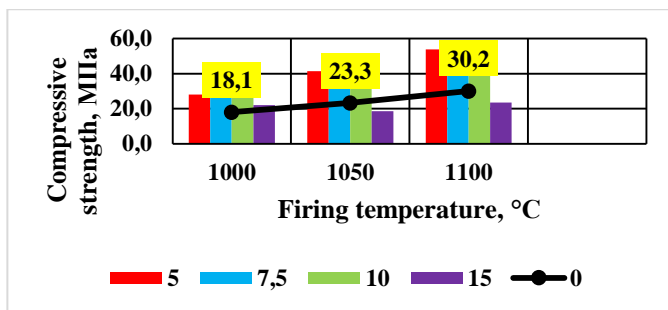


Figure 8 – Results of determining the compressive strength of fired specimens with the addition of red mud + fly ash

Results and discussion

The study of the physical and mechanical properties of fired specimens showed that with the increase in firing temperature up to 1100 °C, the shrinkage was 5.3 % and water absorption of the fired specimens decreased to 20.0 %. The strength properties of the samples with red mud addition, as seen in Figure 9, increased with increasing firing temperature and was 44.7 MPa at maximum firing temperature. Based on the comparative analysis of samples with red mud and combination of red mud with fly ash we can see that the strength property of samples with red mud and fly ash combination was higher was equal to 53,8 MPa at maximum firing temperature.

Funding information

“This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (No. AP23486826)”.

Conclusions

The obtained results of the study allowed us to determine the optimum compositions of ceramic masses and firing process parameters based on the addition of red mud and the combination with fly ash from Pavlodar CHP-1 (table 6).

Table 6 – Optimal technological parameters and physical and mechanical properties of samples based on red bauxite slime addition from JSC "Aluminium of Kazakhstan" and combination with fly ash from Pavlodar CHP-1

Additive	Optimal additive content, %	Оптимальная температура обжига, °C	Water absorption, %	Compressive strength, MPa
initial clay	0	1100	14,4	30,2
red mud	10	1100	14,1	44,7
mixture of fly ash and red mud	5/5	1100	14,8	53,8

Thus, the use of red bauxite slime and the combination with fly ash as additives increased (1.5–1.8 times) the mechanical strength of ceramic samples. This, potentially, can affect the strength of the obtained construction ceramic materials based on the studied in this work additives.

References

1 **Axmadiyeva, N. K., Abdulvaliev, R. A., Akchil Ata, Gladyshev, S. V., Kul'deev, E. I.** Krasny`j shlam glinozemnogo proizvodstva kak potencial`ny`j istochnik dlya polucheniya redkozemel`ny`x e`lementov. Obzor Kompleksnoe ispol`zovanie mineral`nogo sy`r`ya [Red sludge of alumina production as a potential source for the production of rare earth elements. Overview Integrated use of mineral raw materials], 2016. – № 4. P. 98–104 (v russkoyazy`chnom zhurnale).

2 **Langolf, A. A., Nor, P. E., Gagloeva, A. E.** Vozmozhnosti ispol`zovaniya krasnogo shlama [Possibilities of using red sludge] Mater. V mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf. «Bezopasnost` gorodskoj sredy`»: – Omsk, RF, 2017. – P. 243–245.

3 **Kasenov, A. Zh., Tleulesov, A. K., Axmetbek, A. N.** Proizvodstvo betona iz otxodov AO «Alyuminij Kazaxstana» [Production of concrete from waste of JSC "Aluminum of Kazakhstan"] Nauka i texnika Kazaxstana. – 2018. № 1. – P. 61–75 (v russkoyazy`chnom zhurnale).

4 **GOST 8736-2014** Pesok dlya stroitel`ny`x работ. Texnicheskie usloviya [Sand for construction work. Technical conditions], 2014.

5 **GOST 10178-85** Portlandcement i shlakoportlandcement [Portland cement and slag-Portland cement. Technical conditions], 2021.

6 **GOST 23732 -2011** Voda dlya betonov i rastvorov [Water for concrete and mortar], 2011.

7 **Gruzdeva, E. A., Kuznecov V. S.** Analiz sposobov snizheniya negativnogo vozdejstviya otkodov alyuminievogo proizvodstva na okruzhayushhuyu sredu [Analysis of ways to reduce the negative impact of aluminum production waste on the environment] Mater. XVII molodyozhnoj mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konfer. studentov, aspirantov i molody`x uchyony`x «Shag v budushhee: teoreticheskie i prikladny`e issledovaniya sovremennoj nauki»: – Sankt-Peterburg, RF, – 2019. – 70 p.

8 **Pasechnik L. A., Medyankina, I. S., Skachkov, V. M.** Otxody` glinozemnogo proizvodstva-perspektivnoe sy`r`e dlya chernoj i czvetnoj metallurgii [Alumina production waste is a promising raw material for ferrous and non-ferrous metallurgy] FGBUN Institut ximii tverdogo tela Ural`skogo otdeleniya RAN. – 2018.

9 **Sergeev, N. P., Maksimova, V. V., Tolegenov, D. T.** Perspektivy` ispol`zovaniya krasny`x shlamov v keramicheskix texnologiyax [Prospects for the use of red sludge in ceramic technologies] Mater. XXIII mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf. «Ximiya i ximicheskaya texnologiya v XXI veke» imeni vy`dayushhixsya ximikov L. P. Kuleva i N. M. Kizhnera: – Tomsk, RF, 2022. – P. 149– 150.

10 **Tolegenov, D. T., Elubaj, M. A., Bogomolov, A. V., Tolegenova, D. Zh.** Stroitel`naya keramika na osnove prirodnogo i texnogennogo sy`r`ya Respubliki Kazaxstan [Construction ceramics based on natural and man-made raw materials of the Republic of Kazakhstan] Mater. XXIII mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf. «Ximiya i ximicheskaya texnologiya v XXI veke» imeni vy`dayushhixsya ximikov L. P. Kuleva i N. M. Kizhnera: – Tomsk, RF, 2022. – P. 169–171.

Список использованных источников

1 **Ахмадиева, Н. К., Абдулвалиев, Р. А., Акчил Ата, Гладышев, С. В., Кульдеев, Е. И.** Красный шлам глиноземного производства как потенциальный источник для получения редкоземельных элементов. Обзор Комплексное использование минерального сырья, 2016. – № 4. С. 98–104 (в русскоязычном журнале).

2 **Лангольф, А. А., Нор, П. Е., Гаглоева, А. Е.** Возможности использования красного шлама. Матер. V междунар. научно-практической конф. «Безопасность городской среды»: – Омск, РФ, 2017. – С. 243–245.

3 **Касенов А. Ж., Тлеулесов А. К., Ахметбек А. Н.** Производство бетона из отходов АО «Алюминий Казахстана», Наука и техника Казахстана. – 2018. № 1. – С. 61–75 (в русскоязычном журнале).

4 **ГОСТ 8736-2014** Песок для строительных работ. Технические условия, 2014.

5 ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия, 2021.

6 ГОСТ 23732 -2011 Вода для бетонов и растворов, 2011.

7 Груздева, Е. А., Кузнецов, В. С. Анализ способов снижения негативного воздействия отходов алюминиевого производства на окружающую среду. Матер. XVII молодежной междунар. научно-практической конфер. студентов, аспирантов и молодых учёных «Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки»: – Санкт-Петербург, РФ, – 2019. – 70 р.

8 Пасечник, Л. А., Медянкина, И. С., Скачков, В. М. Отходы глиноземного производства-перспективное сырье для черной и цветной металлургии, ФГБУН Институт химии твердого тела Уральского отделения РАН. – 2018.

9 Сергеев, Н. П., Максимова, В. В., Толегинов, Д. Т. Перспективы использования красных шламов в керамических технологиях. Матер. XXIII междунар. научно-практической конф. «Химия и химическая технология в XXI веке» имени выдающихся химиков Л. П. Кулева и Н. М. Кижнера: – Томск, РФ, 2022. – С. 149– 150.

10 Толегинов, Д. Т., Елубай, М. А., Богомолов А. В., Толегинова, Д. Ж. Строительная керамика на основе природного и техногенного сырья Республики Казахстан. Матер. XXIII междунар. научно-практической конф. «Химия и химическая технология в XXI веке» имени выдающихся химиков Л. П. Кулева и Н. М. Кижнера: – Томск, РФ, 2022. – С. 169–171.

**Д. Т. Толегинов¹, М. А. Елубай¹, А. В. Богомолов¹, О. Штыка²,
Д. Ж. Толегинова³**

¹Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Лодзь технологиялық университеті, Польша Республикасы, Лодзь,

³Павлодар химия-механикалық колледжі, Қазақстан Республикасы,
Павлодар қ.

ҚҰРЫЛЫС КЕРАМИКАСЫНДА ЭНЕРГЕТИКА ӨНДІРІСІНІҢ ҚАЛДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Бұл мақалада құрылыс керамикасында "Қазақстан алюминийі" АҚ қызыл боксит шламын және Павлодар өңіріндегі энергетикалық өндірістердің күлдерін одан әрі пайдалану мүмкіндігі зерттеледі.

Байланыстырушы ретінде Павлодардан 250 км қашықтықта орналасқан Кемертуз кен орнынан отқа төзімді саз пайдаланылды. Үлгілер қызыл шлам қоспаларымен және кальций төмен және алюминий оксиді

жогары қышқыл күлдің бір түрі болып табылатын Павлодар ЖЭО-1 күлімен қызыл шламның қосындысымен дайындалды. Бұл материалдар пластикалық қалыптау әдісімен алынды. Шикізат пен алынған үлгілердің келесі физика-химиялық қасиеттері зерттелді: ауада және отта шөгү қасиеті, суды сіңіру, қысу беріктігі және химиялық құрамы.

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, қызыл шлам, қызыл шлам мен күл-таспаның қосындысы қосылған үлгілерге салыстырмалы талдау жүргізілді. Бұл керамикалық массалардың оңтайлы құрамын және күйдіру процесінің параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: қызыл шлам, күл, керамикалық материалдар, Павлодар ЖЭО-1, энергетикалық қалдықтар.

**Д. Т. Төлегенов¹, М. А. Елубай¹, А. В. Богомолов¹, О. Штыка²,
Д. Ж. Төлегенова³**

¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

²Лодзинский технологический университет, Лодзь, Республика Польша,

³Павлодарский химико-механический колледж, Республика Казахстан, г. Павлодар

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКЕ

В данной статье исследуется возможность использования красного бокситового шлама АО "Алюминий Казахстана" и золы-уноса энергетических производств Павлодарского региона в строительной керамике.

В качестве связующего использовалась огнеупорная глина Кемертузского месторождения, расположенного в 250 км от г. Павлодар. Образцы были приготовлены с добавками красного шлама и комбинации красного шлама с золой-уноса Павлодарской ТЭЦ-1, которая представляет собой разновидность кислой золы с низким содержанием оксида кальция и высоким содержанием оксида алюминия. Эти материалы были получены методом пластичного формования. Были изучены следующие физико-химические свойства сырья и полученных образцов: воздушная и огневая усадки, водопоглощение, прочность на сжатие и химический состав.

На основании полученных результатов был проведен сравнительный анализ образцов с добавлением красного шлама и комбинации красного шлама и золы-уноса. Это позволило нам определить оптимальный состав керамических масс и параметры процесса обжига.

Ключевые слова: красный илам, зола-унос, керамические материалы, Павлодарская ТЭЦ-1, отходы энергетики.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Авдеев Леонид Анатольевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Энергетика, автоматика және телекоммуникациялар факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: ugleservice@mail.ru

Авдеев Леонид Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникации, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: ugleservice@mail.ru

Avdeyev Leonid Anatolyevich, candidate of technical sciences, docent, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: ugleservice@mail.ru

Телбаева Шынар Зарыкбекқызы, "Электр энергетикасы" білім беру бағдарламасының докторанты, Энергетика, автоматика және телекоммуникациялар факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: tshz@mail.ru

Телбаева Шынар Зарыкбековна, докторант образовательной программы «Электроэнергетика», Факультет энергетике, автоматике и телекоммуникации, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: tshz@mail.ru

Telbayeva Shynar, doctoral student of the educational program "Electric power Industry", Faculty of Energy, Automation and Telecommunications Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: tshz@mail.ru

Кокин Сергей Евгеньевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, ЖБ ФМАББМ «Ресейдің Тұңғыш Президенті Б. Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті», Екатеринбург қ., Ресей Федерациясы, e-mail: s.e.kokin@urfu.ru.

Кокин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г.Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: e-mail: s.e.kokin@urfu.ru

Kokin Sergey Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg k., Russian Federation, e-mail: s.e.kokin@urfu.ru,

Азаматов Мурат Токтарбекович, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша докторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, muratazamatov@mail.ru

Азаматов Мурат Токтарбекович, докторант, Факультет энергетике, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, muratazamatov@mail.ru

Murat Toktarbekovich Azamatov, doctoral student in «automation and management», Faculty of Energy, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, muratazamatov@mail.ru

Ярославцев Михаил Викторович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, mvaroslavtsev@yandex.ru

Ярославцев Михаил Викторович, кандидат технических наук, доцент, Факультет энегетики, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, myaroslavtsev@yandex.ru

Mikhail Viktorovich Yaroslavtsev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, myaroslavtsev@yandex.ru

Талипов Олжас Манарбекович, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, talipov1980@mail.ru,

Талипов Олжас Манарбекович, професор, Факультет энегетики, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, talipov1980@mail.ru,

Olzhas Manarbekovich Talipov, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, talipov1980@mail.ru

Спирidonov Егор Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті" ФГБОУ, Мехатроника және автоматика факультеті, Новосибирск қ., 630073, Ресей Федерациясы, spiridonov@corp.nstu.ru

Спирidonov Егор Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Факультет мехатроники и автоматизации, г. Новосибирск, 630073, Российская Федерация, spiridonov@corp.nstu.ru,

Egor Alexandrovich Spiridonov, Candidate of Technical Sciences, Assistant professor, Novosibirsk State Technical University, Faculty of Mechatronics and Automation, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, spiridonov@corp.nstu.ru

Акишев Қаршыға Максұтович, кандидат технических наук, ассоциированный. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, email:akmail04cx@mail.ru, 8700992444

Акишев Қаршыға Максұтович, техника ғылым кандидаты, қауымдастырылған профессор, К. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, email:akmail04cx@mail.ru

Akishev Karshyga Maksutovich, Candidate of Technical Sciences, associated Professor, Kazakh University of Technology and Business moniker K. Kylazhav, Astana,010000, Republic of Kazakhstan, email:akmail04cx@mail.ru

Арынгазин Қапар Шакимович, кандидат технических наук, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, kapar47@mail.ru,87051982155

Арынгазин Қапар, Шәкімұлы, техника ғылым кандидаты, профессор, Торайғырова университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, kapar47@mail.ru,87051982155

Aryngazin Kapar Shakimovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, NJSC Toraihyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, kapar47@mail.ru

Калкенов Аслан, Казахский университет технологий и бизнеса имени К. Кулажанова, студент магистратуры 2 курса. Астана, 010000, Республика Казахстан, aslan.kalkenov@mail.ru

Kalkenov Aslan, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, 2-year master's degree student. Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, aslan.kalkenov@mail.ru

Қалкенов Аслан, Қазақ технология және бизнес университеті. К. Құлажанова, 2 курс магистратурасының студенті. Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, aslan.kalkenov@mail.ru

Нұртай Жадыра, доктор Phd, асс. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhadira_nurtai,

Нұртай Жадыра, Phd докторы, асс. профессор, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhadira_nurtai, 87013963220

Nurtai Zhadyra, PhD, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhadira_nurtai

Бийбосунов Болотбек Ильясович, доктор технических наук, доктор физико-математических наук, профессор, Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева, Бишкек, 720064, bbolotbek@mail.ru , 720064.996555754350

Biyybosunov Bolotbek Ilyasovich, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Bishkek, 720064, bbolotbek@mail.ru , 720064.996555754350

Бийбосынов Болотбек Илиясұлы, техника ғылымдарының докторы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Қырғыз мемлекеттік университеті. И. Арабаева, Бішкек, 720064, bbolotbek@mail.ru, 720064.996555754350

Алина Алуа Канатовна, докторант, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.aluakanatovna@gmail.com

Алина Алуа Канатовна, докторант, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: a.aluakanatovna@gmail.com

Alina Alua Kanatovna, PhD student, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.aluakanatovna@gmail.com

Кадыржанов Қайрат Камалович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: kadavrzhanov1945@gmail.com

Кадыржанов Кайрат Камалович, доктор физико-математических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: kadyrzhanov1945@gmail.com

Kadyrzhanov Kairat Kamalovich, doctor of physical and mathematical sciences, Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kadyrzhanov1945@gmail.com

Шлимас Дмитрий Игорьевич, PhD, аға ғылыми қызметкер, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: shlimas@inp.kz

Шлимас Дмитрий Игорьевич, PhD, старший научный сотрудник, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: shlimas@inp.kz

Shlimas Dmitriy Igorevich, PhD, Senior Researcher, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: shlimas@inp.kz

Бергузинов Асхат Нурланович, PhD, профессор, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Бергузинов Асхат Нурланович, PhD, профессор, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Berguzinov Askhat Nurlanovich, PhD, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Әділғазы Рауан Армияұлы, «7М07101 -Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша ӨПА кафедрасының магистранты, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027 Қазақстан Республикасы, radilegazin@gmail.com

Әділғазы Рауан Армияұлы, магистрант кафедрасы АПП по специальности «7М07101 – Автоматизация и управление» Факультет энергетика, автоматика и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, radilegazin@gmail.com

Adilgazy Rauan Armiyauly, Master's student of the Department of APP, specialty «7M07101 - Automation and Control», Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University named after Abylqas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, radilegazin@gmail.com

Есенбаев Салим Хусайнович, ӨПА кафедрасының техникалық ғылымдардың кандидаты доцент, Энергетика, автоматика және телекоммуникация

факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, esalim@bk.ru

Есенбаев Салим Хусаинович, Кандидат технических наук доцент кафедры АПП, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, esalim@bk.ru

Esenbaev Salim Husaynovich, Candidate of Technical Sciences Professor of the Department of APP, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, esalim@bk.ru

Есмұхамбет Жәдігер Бақытбекұлы, «7М07101 -Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша ӨПА кафедрасының магистранты, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, Zhaididong@mail.com

Есмұхамбет Жәдігер Бақытбекұлы, магистрант кафедры АПП по специальности «7М07101 – Автоматизация и управление» Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, Zhaididong@mail.com

Yesmukhambet Zhaidiger Bakytbekuly, Master's student of the Department of APP, specialty «7M07101 - Automation and Control», Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, Zhaididong@mail.com

Иванов Валерий Анатольевич, ӨПА кафедрасының доцент м.а., Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, v.ivanov_6119@mail.ru

Иванов Валерий Анатольевич, и.о. доцента кафедры АПП, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, v.ivanov_6119@mail.ru

Ivanov Valeriy Anatolievich, Acting Associate Professor of the Department of APP, Faculty of Energy, utomation and Telecommunications, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, v.ivanov_6119@mail.ru

Смагулова Каршига Канатовна, ӨПА кафедрасының доценті, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, smagulovakk@mail.ru

Смагулова Каршига Канатовна, доцент кафедры АПП, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, smagulovakk@mail.ru

Smagulova Karshiga Kanatovna, Associate Professor of the Department of APP, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, smagulovakk@mail.ru

Жалмагамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы, PhD. "Электротехника және автоматтандыру" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, факультет Энергетика, Павлодар, Торайгыров университеті, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru

Жалмагамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы, PhD. Ассоциированный профессор кафедры «Электротехники и автоматизации», факультет Энергетики, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ultuara@mail.ru

Zhalmagambetova Ultuar, PhD, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty Power engineers, Toraiighvrov university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ultuara@mail.ru

Радельюк Иван, PhD. «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасы постдокторанты, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: drivanradelyuk@gmail.com

Радельюк Иван, PhD, постдокторант кафедрасы «Химия и химические технологии», факультет естественных наук, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: drivanradelyuk@gmail.com

Radelyuk Ivan, PhD, postdoc of the Department of Chemistry and Chemical Technologies, Faculty of natural sciences, Toraiighvrov university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: drivanradelyuk@gmail.com

Омербаева Дилара Амангельдиновна, магистрант, 7M07101-Автоматтандыру және басқару, факультет Энергетика, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: dilvara.omerbaeva@mail.ru

Омербаева Дилара Амангельдиновна, магистрант, 7M07101-Автоматизация и управление, факультет Энергетики, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: dilvara.omerbaeva@mail.ru

Omerbaveva Dilvara Amangeldinovna, undergraduate student, 7M0710-Automation and Control, Faculty Power engineers, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: dilvara.omerbaeva@mail.ru

Нефтисов Александр Витальевич, PhD, қауымдастырылған профессор, "Industry 4.0" ғылыми-инновациялық орталығының директоры, Astana IT University

[Мәңгілік Ел даңғылы, 55/11, Ехро Бизнес-орталығы, С1 блогы, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexandr.neftissov@astanait.edu.kz](#)

[Нефтисов Александр Витальевич, PhD, ассоциированный профессор, директор научно-инновационного центра «Industry 4.0», Astana IT University проспект Мангилик Ел, 55/11, Бизнес-центр ЕХРО, блок С1, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: alexandr.neftissov@astanait.edu.kz](#)

[Alexandr Neftissov, PhD, Associate Professor Research and innovation center "Industry 4.0", Astana IT University Mangilik sq., expo C1, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexandr.neftissov@astanait.edu.kz](#)

[Қазамбаев Ильяс Маратулы, техникалық ғылымдар магистрі, С.Сейфуллин атындағы Қазак агротехникалық ғылыми-зерттеу университетінің докторанты, «Industry 4.0» ғылыми-инновациялық орталығының кіші ғылыми қызметкері, Астана ІТ университеті Мәңгілік ел даңғылы, 55/11, ЭКСПО бизнес-орталығы, С1 блогы, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: i.kazambayev@astanait.edu.kz](#)

[Қазамбаев Ильяс Маратулы, магистр технических наук, докторант, Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, младший научный сотрудник научно-инновационного центра «Industry 4.0», Astana IT University проспект Мангилик Ел, 55/11, Бизнес-центр ЕХРО, блок С1, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: i.kazambayev@astanait.edu.kz](#)

[Kazambayev Ilvas Maratuly, Master of Technical Sciences, Doctoral Student of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Junior Researcher of the Scientific and Innovation Center "Industry 4.0", Astana IT University, 55/11 Mangilik El Avenue, EXPO Business Center, Block C1, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: i.kazambayev@astanait.edu.kz](#)

[Исабеков Лаурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru](#)

[Исабеков Лаурен Джамбулович, PhD, постдокторант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru](#)

[Issabekov Dauren Dzhambulovich, PhD, postdoctoral fellow, Faculty of Energetics, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru](#)

[Исаев Нұрбұхамбет Бахытбекович, магистрант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurik_220793@mail.ru](#)

[Исаев Нұрбұхамбет Бахытбекович, магистрант, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: nurik_220793@mail.ru](#)

[Isaev Nurbukhambet Bakhytbekovich, master student, Faculty of Energetics, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurik_220793@mail.ru](#)

Дмитриенко Любовь Васильевна, Магистрант. «Жылу энергетикасы» кафедрасы, энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140008, Казакстан Республикасы, e-mail: luba_pavlova97@mail.ru

Дмитриенко Любовь Васильевна, магистрант. Кафедра «Теплоэнергетика» Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: luba_pavlova97@mail.ru

Dmitrienko Lyubov Vasilievna, graduate student, Department "Thermal Power Engineering", Faculty of Energy, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: luba_pavlova97@mail.ru

Кинжибекова Акмарал Кабиденовна, Техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Жылу энергетикасы» кафедрасы, энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар қ., 140008, Казакстан Республикасы, e-mail: akmaral70@mail.ru

Кинжибекова Акмарал Кабиденовна, Кандидат технических наук, профессор, Кафедра «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: akmaral70@mail.ru

Kinzhibekova Akmaral Kabidenovna, Candidate of Technical Sciences, professor, Department "Thermal Power Engineering" Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmaral70@mail.ru

Плевако Анжела Петровна, аға оқытушы, Жылу энергетикасы кафедрасы, энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Казакстан Республикасы, e-mail: plada78@mail.ru

Плевако Анжела Петровна, ст. преподаватель, Кафедра «Теплоэнергетика», Факультет энергетики, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: plada78@mail.ru

Plevako Angela Petrovna, Senior Lecturer, Departments of Thermal Power Engineering, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: plada78@mail.ru

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, қауымдастырылған профессор, Жаратылыстану жоғары мектебі, Ә.Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар қ., 140008, Казакстан Республикасы, e-mail: akisabekova@mail.ru

Кисабекова Асемгуль Агибаевна, PhD, ассоциированный профессор, Высшая школа Естествознания, Павлодарский педагогический университет имени Ә.Марғұлан», г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: akisabekova@mail.ru

Kissabekova Assemgul, PhD, Associate Professor, Higher School of Natural Science, Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akisabekova@mail.ru

Красников Алексей Сергеевич, PhD, ғылыми қызметкер, Тарту университетінің физика институты, Тарту қаласы, 50605, Эстония, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee

Красников Алексей Сергеевич, PhD, научный сотрудник, Институт физики, Тартуский университет, г. Тарту, 50605, Эстония, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee

Krasnikov Aleksei, PhD, Researcher, Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, 50605, Estonia, e-mail: aleksei.krasnikov@ut.ee

Алпысова Гүльнур Кенжебековна, PhD, қавымдастырылған профессор, физика-техникалық факультеті, «Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы Қарағанды қ., 100026, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulnur-0909@mail.ru

Алпысова Гүльнур Кенжебековна, PhD, ассоциированный профессор, физико-технический факультет, «Қарагандинский университет им. Е.А. Букетова», г. Караганда, 100026, Республика Казахстан, e-mail: gulnur-0909@mail.ru

Alpysova Gulnur, PhD, Associate Professor, Faculty of physics and technology, Karaganda Buketov University, Karaganda, 100026, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnur-0909@mail.ru

Косяков Игорь Олегович, PhD, қавымдастырылған профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы, heimmdal@mail.ru

Косяков Игорь Олегович, PhD, ассоциированный профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, 050063, Республика Казахстан, heimmdal@mail.ru

Kossvakov Igor Olegovich, PhD, Associate Professor, International university of transport and humanities, Almaty, 050063, Republic of Kazakhstan, heimmdal@mail.ru

Луценко Григорий Валерьевич, Сотрудник, Ұлттық қауіпсіздік комитетінің Академиясы, Алматы қ., 050023, Қазақстан Республикасы, academy@knb.kz

Луценко Григорий Валерьевич, Сотрудник, Академия Комитета национальной безопасности, Алматы, 050023, Республика Казахстан, academy@knb.kz

Lucenko Grigoriy Valerievich, Сотрудник, National security committee Academy, Almaty, 050023, Republic of Kazakhstan, academy@knb.kz

Махмутова Сабина Махмутқызы, «Электроэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетика, автоматика және телебайланыс факультеті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, s.mahmutova@kstu.kz

Махмутова Сабина Махмутқызы, докторант по специальности «Электроэнергетика», Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, Караганда, 100027, Республика Казахстан, s.mahmutova@kstu.kz

Makhmutova Sabina Makhmutkvzy, Doctoral student in «Electrical Engineering», Faculty of energy, automation and telecommunications, Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, s.mahmutova@kstu.kz

Калинин Алексей Анатольевич, PhD докторы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Инновациялық технологиялар факультеті, Қарағанды, 100027, Қазақстан Республикасы, a.kalinin@kstu.kz

Калинин Алексей Анатольевич, доктор PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Факультет инновационных технологий, Караганда, 100027, Республика Казахстан, a.kalinin@kstu.kz

Kalinin Alexey Anatolievich, PhD, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Faculty of innovation technology, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, a.kalinin@kstu.kz

Машрапов Бауыржан Ерболович, PhD докторы, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Машрапов Бауыржан Ерболович, доктор PhD, постдокторант, Факультет энергетикi, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Bauyrzhan Erbolovich Mashrapov, doctor PhD, postdoctoral student, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Клепель Марк Яковлевич, Техника ғылымдарынын докторы, профессор, Энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы.

Клепель Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Факультет энергетикi, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

Mark Yakovlevich Kletsel, doctor of technical sciences, professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Машрапова Ризагүл Мегланиятовна, PhD докторы, қауым профессор, Энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы.

Машрапова Ризагүл Мегланиятовна, доктор PhD, асоц. профессор, Факультет энергетикi, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

Rizagul Megdaniyatovna Mashrapova, doctor PhD, assoc. professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

Мусагажинов Мадияр Жалелович, докторант, Казак агротехникалык университеті, С. Сейфуллина, докторанты, Астана қ, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: musagazhinov@bk.ru

Мусагажинов Мадияр Жалелович, докторант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: musagazhinov@bk.ru

Musagazhinov Madiyar Zhalelovich, doctoral student, Kazakh Agrotechnical University named S. Seifullina, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: musagazhinov@bk.ru

Юрченко Алексей Васильевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Жоғары энергиялық процестер физикасының ғылыми-зерттеу мектебі, Томск к., 634000, Ресей Федерациясы, e-mail: reaper@tpu.ru

Юрченко Алексей Васильевич, доктор технических наук, профессор Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, г. Томск, 634000, Российская Федерация, e-mail: reaper@tpu.ru

Yurchenko Alexey Vasilievich, doctor of Technical Sciences, Professor Research School of Physics of High Energy Processes, Tomsk, 634000, Russian Federation, e-mail: reaper@tpu.ru

Кислов Александр Петрович, техника ғылымының кандидаты, электр техникасының құрметті докторы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Kislovpsu@mail.ru

Кислов Александр Петрович, кандидат технических наук, доктор электротехники, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Kislovpsu@mail.ru

Kislov Aleksandr Petrovich, candidate of Engineering Sciences, Doctor of Electrical Engineering, Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Kislovpsu@mail.ru

Звонцов Алексей Сергеевич, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша аға оқытушысы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: trigal@mail.ru

Звонцов Алексей Сергеевич, ст. преподаватель по специальности «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Факультет, Энергетики, Торайғыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: trigal@mail.ru

Aleksey Sergeevich Zvontsov senior lecturer in «Radio Engineering, Electronics and Telecommunications» Faculties of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: trigal@mail.ru

Мустафина Раиса Мухаметжаровна, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

Мустафина Раиса Мухаметжаровна, кандидат технических наук, доцент, профессор, Факультет энергетике, Торайғыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

Mustafina Raisa Mukhametzharovna, Candidate of Technical Sciences, docent, professor, Faculty of Energy, Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mustafina.r@teachers.tou.edu.kz

Мусекенова Гаухар Отегеновна, магистр, аға оқытушы, Энергетика факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: orazova.g@teachers.tou.edu.kz

Мүсекенова Гаухар Отегеновна, магистр, ст. преподаватель, Факультет энергетика, Торайгыров Университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: orazova.g@teachers.tou.edu.kz

Mussekenova Gaukhar Otegenovna, magistr, senior lecturer, Faculty of Energy, Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: orazova.g@teachers.tou.edu.kz

Нурмағанбетова Гүлім Сахитовна, Аға оқытушы, PhD докторы, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g_sahitovna@mail.ru

Нурмағанбетова Гулим Сахитовна, Ст. преподаватель доктор PhD, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: g_sahitovna@mail.ru

Nurmaganbetova Gulim Sakhitovna, Senior lecturer, PhD, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g_sahitovna@mail.ru

Каверин Владимир Викторович, Профессордың міндетін атқарушы, техника ғылымдырының кандидаты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ. 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: kaverinkz@inbox.ru

Каверин Владимир Викторович, Исполняющий обязанности профессора, кандидат технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: kaverinkz@inbox.ru

Kaverin Vladimir Viktorovich, Acting Professor, Candidate of Technical Sciences, Abylqas Saginov Karaganda Technical University Karaganda, 100027, The Republic of Kazakhstan, e-mail: kaverinkz@inbox.ru

Исенов Султанбек Сансызбаевич, Энергетика факультетінің деканы, техника ғылымдырының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Исенов Султанбек Сансызбаевич, Декан энергетического факультета, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Issenov Sultanbek Sansyzbaevich, Dean of the Faculty of Energy, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Таткеева Галина Галимзяновна, «Электрмен жабдықтау» кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының докторы, доцент, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tatkeeva@mail.ru

Таткеева Галина Галимзяновна, Заведующая кафедрой «Электроснабжения», доктор технических наук, доцент, Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000 Республика Казахстан, e-mail: tatkeeva@mail.ru

Таткеева Галина Галимзяновна, Head of the Department of «Power Supply», Doctor of Technical Sciences, docent, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tatkeeva@mail.ru

Эм Геннадий Аркадьевич, Өндірістік процестерді автоматтандыру кафедрасының аға оқытушысы, техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: egaapp@mail.ru

Эм Геннадий Аркадьевич, Ст. преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов, магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сагинова, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: egaapp@mail.ru

Em Gennady Arkadvevich, Senior lecturer at the Department of Automation of Production Processes, Master of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: egaapp@mail.ru

Пирманов Ильдар, Докторант, АК «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: i.pirmanov@agakaz.kz

Пирманов Ильдар, Докторант, АО «Академия Гражданской Авиации», Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: i.pirmanov@agakaz.kz

Pirmanov Idar, doctoral student, JSC "Academy of Civil Aviation", Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: i.pirmanov@agakaz.kz

Сағындық Әйгерім Бекенқызы, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiko_90@mail.ru

Сағындық Айгерім Бекенқызы, PhD, постдокторант Факультет энергетика, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aiko_90@mail.ru

Sagvndyk Aigerim Bekenkyzy, PhD, postdoctoral fellow, Faculty of Energetics, Toraighvrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiko_90@mail.ru

Мануковский Анатолий Васильевич, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Энергетика факультеті, Торайгыров Университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: man-av@vandex.ru

Мануковский Анатолий Васильевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Факультет энергетика, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: man-av@vandex.ru

Manukovskiy Anatoliy Vassiljevich, candidate of technical sciences, associate professor, Faculty of Energetics, Toraighvrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: man-av@vandex.ru

Мануковский Алексей Анатольевич, өндірістік оқыту мәстері, Энергетика факультеті, КЕАК «Торайгыров Университеті», Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alex_roxadmirer@mail.ru

Мануковский Алексей Анатольевич, мастер производственного обучения, Факультет энергетика, Торайгыров университет, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alex_roxadmirer@mail.ru

Manukovsky Alexey Anatolievich, master of industrial training, Faculty of Energetics, Toraighvrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alex_roxadmirer@mail.ru

Кошекков Кайрат Темірбаевыч, Техника ғылымдарының докторы, профессор, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы».

Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Косшекков Кайрат Темирбаевич. Доктор технических наук, профессор, АО «Академия Гражданской Авиации». Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Koshekov Kairat, Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC "Academy of Civil Aviation", Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Азаматова Жанерке, PhD докторы қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, 070016, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhanerkeaz@mail.ru

Азаматова Жанерке, доктор PhD, асоп. профессор, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: zhanerkeaz@mail.ru

Azamatova Zhanerke, PhD , associate professor, D. Serikbavev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhanerkeaz@mail.ru

Нурғалиева Асель, Оқытушы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, 070016, Қазақстан Республикасы, nurgalieva_asel@mail.ru

Нурғалиева Асель, Преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, nurgalieva_asel@mail.ru

Nurgalieveva Assel, Lecturer, D. Serikbavev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakhstan, nurgalieva_asel@mail.ru

Сапарғалиева Айгерім Нұржанқызы, «Жылу энергетика» мамандығының докторанты, С.Сейфуллин атындағы агротехникалық зерттеу университеті, Энергетика факультеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ms.lady.aigerima@bk.ru

Сапарғалиева Айгерім Нұржановна, докторант по специальности «Теплоэнергетика», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Энергетический факультет, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: ms.lady.aigerima@bk.ru,

Sapargalieveva Aigerim Nurzhanovna, PhD student in the specialty of Thermal power engineering, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Energy faculty,

[Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: \[ms.lady.aigerima@bk.ru\]\(mailto:ms.lady.aigerima@bk.ru\), +77782030692](#)

[Баубеков Кват Талгатович, техника ғылымдарының докторы, «Жылу энергетикасы» кафедрасының доценті, С.Сейфуллин атындағы агротехникалық зерттеу университеті, Энергетика факультеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: \[baubekov52@mail.ru\]\(mailto:baubekov52@mail.ru\), +77476181568](#)

[Баубеков Кват Талгатович, доктор технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Энергетический факультет, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: \[baubekov52@mail.ru\]\(mailto:baubekov52@mail.ru\), +77476181568](#) [Baubekov Kvat Talgatovich, Doctor of Technical Sciences, specialty "Heat Power", S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Energy faculty, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: \[baubekov52@mail.ru\]\(mailto:baubekov52@mail.ru\).](#)

[Биахметов Бауыржан Ақылбекұлы, «Жылу энергетика» мамандығының докторанты, С.Сейфуллин атындағы агротехникалық зерттеу университеті, Энергетика факультеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: \[bauvrzhanbiakhmetov@gmail.com\]\(mailto:bauvrzhanbiakhmetov@gmail.com\)](#)

[Биахметов Бауыржан Ақылбекұлы, докторант по специальности «Теплоэнергетика», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Энергетический факультет, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: \[bauvrzhanbiakhmetov@gmail.com\]\(mailto:bauvrzhanbiakhmetov@gmail.com\)](#)

[Biakhmetov Bauyrzhan Akylbekuly, PhD student in the specialty of Thermal power engineering, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Energy faculty, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: \[bauvrzhanbiakhmetov@gmail.com\]\(mailto:bauvrzhanbiakhmetov@gmail.com\)](#)

[Саракешова Нурбуби Нуркеновна, 098 «Жылу энергетика» мамандығы бойынша докторант, Энергетикалық факультет, С.Сейфуллин атындағы Казак агротехникалық зерттеу университеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: \[nurbubi92@mail.ru\]\(mailto:nurbubi92@mail.ru\).](#)

[Саракешова Нурбуби Нуркеновна, Докторант по специальности 098 «Теплоэнергетика» Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: \[nurbubi92@mail.ru\]\(mailto:nurbubi92@mail.ru\)](#)

[Sarakeshova Nurbubi Nurkenovna, Doctoral student in specialty 098 «Thermal Power Engineering», Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: \[nurbubi92@mail.ru\]\(mailto:nurbubi92@mail.ru\).](#)

Достияров Абай Мұхамедиярулы, "Жылу энергетикасы" кафедрасының техника ғылымдарының докторы, профессоры, Энергетикалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.m.dost1951@gmail.com

Достияров Абай Мұхамедиярович, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», Энергетический факультет, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: a.m.dost1951@gmail.com

Dostivarov Abay Mukhamediarovich, Doctor of Technical Sciences Professor, Department of Thermal Power Engineering, Faculty of Energy, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.m.dost1951@gmail.com

Коробков Максим Сергеевич, «Жылу энергетикасы» кафедрасының қауымдастырылған зерттеуші профессоры, PhD, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.korobkov@aes.kz

Коробков Максим Сергеевич, Ассоциированный профессор – исследователь кафедры «Теплоэнергетика», PhD, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: m.korobkov@aes.kz

Korobkov Maxim Sergeevich, Associate professor – researcher of «Heat power engineering» department, PhD Almaty university of power engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.korobkov@aes.kz

Яманбекова Аяулым Конусбековна, «Жылу энергетикасы» кафедрасының қауымдастырылған зерттеуші профессоры, PhD, «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.vamanbekova@aes.kz

Яманбекова Аяулым Конусбековна, ассоц. профессор – исследователь кафедры «Теплоэнергетика», PhD, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.vamanbekova@aes.kz

Яманбекова Аяулым Конусбековна, Associate professor – researcher of «Heat power engineering» department, PhD, Almaty university of power engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.vamanbekova@aes.kz

Сыдыкова Гулнар Кудайбергенова, Техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: svdykova77@mail.ru

Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна, Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: svdykova77@mail.ru

Sydykova Gulnar, Ph.D., Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: svdykova77@mail.ru

Құлтан Исламбек Берікұлы, «Электр энергетикасы (Жанартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: islambek.kultan@mail.ru

Құлтан Исламбек Берикович, Магистрант по специальности «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: islambek.kultan@mail.ru

Kultan Islambek, Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy)», Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: islambek.kultan@mail.ru

Тлеубаева Гулдана Бекзадақызы, «Электр энергетикасы (Жанартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tleubaeva_0930@mail.ru

Тлеубаева Гульдана Бекзадаевна, Магистрант по специальности «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: tleubaeva_0930@mail.ru

Tleubaeva Guldana Bekzadaevna, Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy)», Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tleubaeva_0930@mail.ru

Жүнісов Жандос Торғайбайұлы, «Электр энергетикасы (Жанартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: jandos.iunusov@gmail.com

Жунусов Жандос Торғайбаевич, Магистрант по специальности «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республикi Казахстана, e-mail: jandos.iunusov@gmail.com

Zhunusov Zhandos Torgaibavevich, Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy)», Korkvt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: jandos.iunusov@gmail.com

Байғабұлов Әди Болатұлы, «Электр энергетикасы» мамандығы бойынша 4 курс студенті, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Baiga.student@gmail.com

Байғабұлов Ади Болатұлы, Студент 4 курса специальности «Электроэнергетика», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, Кызылорда, 020000, Республикi Казахстана, e-mail: Baiga.student@gmail.com

Baigabylov Adi Bolatovich, 4th year student in the specialty «Electric Power Engineering», Korkvt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Baiga.student@gmail.com

Югай Вячеслав Викторович, PhD, ОПА кафедрасының меңгерушісі, Академик Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100004, Қазақстан Республикасы, e-mail: slawa_v@mail.ru

Югай Вячеслав Викторович PhD, Заведующий кафедрой АПП Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Караганда, 100004, Республика Казахстан, e-mail: slawa_v@mail.ru

Vvacheslav Yugav, PhD, Head of Department Department, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100004, Republic of Kazakhstan, e-mail: slawa_v@mail.ru

Манат Сымбат Манаткызы, Докторант, Академик Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, 100004, Қазақстан Республикасы, manatsymbat20@gmail.com

Манат Сымбат Манаткызы, Докторант, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Караганда, 100004, Республика Казахстан, e-mail: manatsymbat20@gmail.com

Symbat Manat, PhD student, Karaganda Technical University named after Abilkas Saginov, Karaganda, 100004, Republic of Kazakhstan, e-mail: manatsymbat20@gmail.com

Тайсариева Қырмызы Нурлановна, PhD докторы, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Қ. И. Сәтбаев атындағы қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.taisariyeva@satbavev.university

Тайсариева Қырмызы Нурлановна, доктор PhD, ассоциированный профессор, Института автоматике и информационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: k.taisariyeva@satbavev.university

Қырмызы Таисариева, PhD, associate professor, Institute of Automation and Information Technologies, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbavev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.taisariyeva@satbavev.university

Джобалаева Гулим Сасановна, 8D06201 – «Телекоммуникация» мамандығы бойынша докторант, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.jobalaveva@satbavev.university

Джобалаева Гулим Сасановна, докторант по специальности 8D06201 – «Телекоммуникация», Института автоматике и информационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: g.jobalaveva@satbavev.university

Jobalaveva Gulim Sasanovna, doctoral student in 8D06201 - «Telecommunications», Institute of Automation and Information Technologies, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbavev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.jobalaveva@satbavev.university

Исембергенов Налик Түреғалиевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, К. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: n.isembergenov@satbavev.university

Исембергенов Налик Түреғалиевич, доктор технических наук, профессор, Института автоматизации и информационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: n.isembergenov@satbavev.university

Isembergenov Nalik Doctor of Technical Sciences, Professor, «Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbavev» Institute of Automation and Information Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.isembergenov@satbavev.university

Мүсілімов Қуаныш Бакытұлы, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, «К. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті», Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.muslimov@satbavev.university

Мүсілімов Қуаныш Бакытұлы, магистр технических наук, старший преподаватель, Института автоматизации и информационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: k.muslimov@satbavev.university

Muslimov Kuanysh Master of Technical Sciences, senior lecturer, «Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbavev» Institute of Automation and Information Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.muslimov@satbavev.university

Қуттыбаева Айнұр Ермеккалиевна, экономика ғылымдарының кандидаты, қавымдастырылған профессор, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, К. И. Сәтбаев атындағы қавымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.kuttybaveva@satbavev.university

Қуттыбаева Айнұр Ермеккалиевна, кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Института автоматизации и информационных технологий, Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.kuttybaveva@satbavev.university

Kuttybaveva Ainur Ermeckalievna, Candidate of Economic Sciences, Associate professor, Institute of Automation and Information Technologies, Kazakh

National Research Technical University named after K. I. Satbavev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.kuttvbaveva@satbavev.university.kz

Толегенов Диас Талгатович, «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасының аға оқытушысы, техника ғылымдарының магистрі, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, www.dika-92@mail.ru.

Толегенов Диас Талгатович, старший преподаватель, магистр технических наук кафедры «Химия и химические технологии», Факультет естественных наук, Торайгыров университет, Павлодар, 140000, Республика Казахстан, www.dika-92@mail.ru

Tolegenov Dias Talgatovich, Senior Lecturer, master of technical sciences, Department of Chemistry and Chemical Technologies, Faculty of Natural Sciences, Toraighrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, www.dika-92@mail.ru

Елубай Мадениет Азаматович, химия ғылымдарының кандидаты, доцент, «Химия және химиялық технологиялар» кафедрасының меңгерушісі, профессор, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы, velubay.m@tou.edu.kz

Елубай Мадениет Азаматович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и химические науки», профессор, Факультет естественных наук, Торайгыров университет, Павлодар, 140000, Республика Казахстан, velubay.m@tou.edu.kz

Elubay Madeniet Azamatovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Chemical Sciences, Professor, Faculty of Natural Sciences, Toraighrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, velubay.m@tou.edu.kz

Богомоллов Алексей Витальевич, техника ғылымдарының кандидаты, «Металлургия» кафедрасының профессоры, Инженерия факультеті, Торайгыров университеті, Павлодар, 140000, Қазақстан Республикасы

Богомоллов Алексей Витальевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Металлургия», факультет Инженерии, Торайгыров университет, Павлодар, 140000, Республика Казахстан

Bogomolov Alexey Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Metallurgy, Faculty of Engineering, Toraighrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

Олександр Штыка, доктор PhD, профессор, Лодзь технологиялық университеті, Лодзь, 90-924, Польша Республикасы, oleksandr.shtyka@p.lodz.pl

Олександр Штыка, доктор PhD, профессор, Лодзинского технологического университета, Лодзь, 90-924, Республика Польша, oleksandr.shtyka@p.lodz.pl

Oleksandr Shtyka, PhD, Professor at Lodz University of Technology, Lodz, 90-924, Republic of Poland, oleksandr.shtyka@p.lodz.pl

Толегенова Диана Жумабековна, техника ғылымдырының магистрі, оқытушысы, Павлодар химия-механикалық колледжі, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы

Толегенова Диана Жумабековна, магистр технических наук преподаватель, Павлодарский химико-механический колледж, Павлодар, 140008, Республика Казахстан

Tolegenova Diana Zhumabekovna, master of technical sciences, teacher, Pavlodar chemical-mechanical college, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, «Computer Science» факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurlybek_79@mail.ru

Испулов Нурлыбек Айдарғалиевич, кандидат физико-математических наук, доцент, факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: nurlybek_79@mail.ru

Ispulov Nurlybek, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Faculty of Computer Science, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurlybek_79@mail.ru

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржиқова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №41204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржиқова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«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