

ISSN 1999-9801



АУЭС

Алматы энергетика және
байланыс университетінің
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Алматинского университета
энергетики и связи

2(49)

2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА»

В Е С Т Н И К

АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Учрежден в июне 2008 года

2 (49)

2020

Импакт-фактор - 0.154

Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год

Алматы



**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**
имени Гумарбека Даукеева

057
КОД ВУЗА

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛИЦЕНЗИЯ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ №01377445 ОТ 4.08.2010. СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ АККРЕДИТАЦИИ № 000003

АУЭС - ведущий ВУЗ в Казахстане, готовящий высококвалифицированных специалистов в сфере энергетики, телекоммуникации и IT-технологий во всем регионе Центральной Азии. Университет готовит специалистов по образовательным программам **БАКАЛАВРИАТА, МАГИСТРАТУРЫ И ДОКТОРАНТУРЫ PhD.**

Группы образовательных программ	Образовательная программа
Информационные технологии	Computer science
	Информационные системы
	Вычислительная техника и программное обеспечение
Информационная безопасность	Системы информационной безопасности
Коммуникации и коммуникационные технологии	Радиотехника, электроника и телекоммуникации
	Инфокоммуникационные технологии и системы
	Специальная электросвязь
	Электронная инженерия
Электротехника и энергетика	Теплоэнергетика
	Тепловые электрические станции
	Предпринимательство в инженерии
	Энергоаудит и энергоменеджмент
	Модернизация и реновация систем генерации электрической и тепловой энергии
	Промышленная теплоэнергетика
	Технология воды и топлива
	Электроэнергетические системы
	Современные и инновационные технологии возобновляемой энергетики
	Электроэнергетика
Интеграция и управление Smart технологиями энергосбережения и энергоэффективности в электроэнергетике	
Электротехника и автоматизация	Автоматизация и управление
Механика и металлообработка	Приборостроение
Воздушный транспорт и технологии	Космическая техника и технологии
	Космическая инженерия
Агроинженерия	Энергообеспечение сельского хозяйства
	Гибридные системы электроснабжения агропромышленных объектов
Санитарно-профилактические мероприятия	Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды
	Инженерная экология и безопасность в энергетике
	Промышленная безопасность
Механика и металлообработка	Робототехнические системы

ТОП-10
НАЦИОНАЛЬНОГО
РЕЙТИНГА
ЛУЧШИХ ВУЗОВ РК

ТОП-10
ЛУЧШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ
ВУЗОВ РК



Язык обучения:
- Казахский
- Русский
- Английский



Форма обучения:
- Очное
- Очное с применением дистанционных технологий



Иногородним предоставляется общежитие

**СРОКИ ПОДАЧИ ДОКУМЕНТОВ
С 1 ФЕВРАЛЯ ПО 25 АВГУСТА**

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СКИДКИ НА ОБУЧЕНИЕ

ГРАНТЫ

- Государственный
- От компаний партнеров
- Имени первого ректора АУЭС Гумарбека Даукеева

СТИПЕНДИИ

- Президентская
- Государственная
- Совета попечителей
- Имени первого ректора АУЭС Гумарбека Даукеева
- Имени Ш.Есенова
- Самрук Энерго

100% ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ПРАКТИКИ

94% ТРУДОУСТРОЙСТВО
В ТЕЧЕНИЕ ГОДА
ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ
ВУЗА

70 ПАРТНЕРОВ
УНИВЕРСИТЕТОВ

АДРЕС:
050013, г. Алматы,
ул. Байтурсынулы 126/1

AUES.KZ

#АУЭС
#AUES
#ТОТСАМЫЙЭНЕРГО
#НЕДЛЯГУМАНИТАРИЕВ

КОНТАКТНЫЙ ТЕЛЕФОН:
+7(727) 292-0303



AUES UNIVERSITY



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сагинтаева С.С., д-р экон. наук, канд. физ.- мат. наук, академик МАИН, ректор НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Гита Ревалде, доктор PhD, член-корреспондент Академии наук Латвии, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Главный редактор – Стояк В.В., канд. техн. наук, профессор, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Заместитель главного редактора – Жауыт А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Илиев И.К., д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария.
Галайко Дмитрий, доктор PhD, университет Сарбонны, Франция.
Такая Инамори, доктор PhD, Университет Токио, Япония.
Цветков В.Ю., д-р техн. наук, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Белоруссия.
Кузнецов А.А., д-р техн. наук, ФГБОУ ВА «Омский государственный университет путей сообщения», Российская Федерация.
Авезова Н.Р., д-р, техн. наук, Министерство инновационного развития Республики Узбекистан.
Мунц В.А., д-р техн. наук ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Российская Федерация.
Мустафин М.А., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Обозов А.Д., д-р техн. наук, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызская Республика.
Орумбаев Р.К., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Потехин В.В., канд. техн. наук доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.
Франческо Сандоро, доктор PhD, Университет Альдо Моро, Бари, Италия.
Туманбаева К.Х., канд. техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Мутуле Анна, доктор PhD, Рижский Технический Университет, Латвия.
Махмутов С.К., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Алипбаев К.А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Кабдушев Б.Ж., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева».
Ответственный секретарь: Шуебаева Д.А.
Технический редактор казахского языка Алмухаметова Г.С.
Технический редактор русского языка Ефимова А.Н.
Технический редактор английского языка Сергеева Л.Д.

С содержанием журнала можно ознакомиться на сайте <http://aues.kz> , <http://vestnik-aues.kz>

Подписаться на журнал можно в редакции журнала и по объединенному каталогу Департамента почтовой связи, подписной индекс - **74108**.

Адрес редакции: 050013, г.Алматы, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтурсынулы, дом 126/1, офис А224

Тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aues.kz,

Тираж 200 экз.



РУБРИКИ

Теплоэнергетика и Теплотехнологии

- Экспериментальные и численные исследования теплоэнергетических и теплотехнологических процессов
- Физико-химические процессы в теплоэнергетике и теплотехнологиях
- Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, процессы и аппараты
- Автономные и распределенные системы комплексного энергоснабжения, комбинированное производство энергоносителей.

Телекоммуникации и Коммуникационная инженерия

- Сети и системы радиовещания и телевидения
- Системы и устройства связи, навигации и управления
- Информационные технологии в телекоммуникациях
- Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств

Космическая инженерия и Робототехника

- Космическая навигация и связь
- Космическое и специальное электронное приборостроение, малые космические аппараты
- ГИС-технологии и методы дистанционного зондирования земли
- Мехатроника и робототехнические системы

Энергообеспечение сельского хозяйства

- Агро инженерные проблемы, энергосбережение и энергоэффективные технологии
- Энергообеспечение отдаленных населенных пунктов и объектов производства на основе возобновляемых источников энергии

Электроэнергетика и Электротехнологии

- Электрические станции, сети и системы
- Электромеханика и электропривод
- Электрический транспорт
- Электроэнергетика на базе ВИЭ
- Интеллектуальные электрические сети

Автоматика, Информационные технологии и Кибербезопасность

- Системы автоматического управления
- Вычислительная техника и программное обеспечение
- Информационные системы
- Системы информационной безопасности

Промышленная и Экологическая безопасность

- Промышленная безопасность технологических процессов
- Состояние и проблемы охраны окружающей среды и пути их решения
- Экологическая безопасность объектов энергетики
- Системы управления безопасности труда

Вопросы высшей школы, Инновационное развитие высшего образования

- Содержание и качество высшего инженерного образования
- Инновационные технологии обучения в высшем образовании
- Прикладная инновационная экономика знаний
- Современные коммуникативные технологии в инженерном образовании



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

Джунусов Е. А., Стояк В. В.

Анализ энергетического и экологического состояния существующей системы теплоснабжения г. Алматы с рассмотрением возможности применения перспективных технологий для теплоснабжения.....7

Шишкин А. А., Шишкин А. А., Душкина Н. Н. *Отозвана/Retracted 05.10.2020*

Экспериментальное исследование аэродинамической структуры потока в зоне сепарации частиц нового золоулавливающего устройства.....17

Идрисова К. С., Туманова А. А., Колдасова Г. А.

ЖЭС гидроқұлқожшығару жүйесінде өтетін процестерді зерттеу.....25

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Умбеткулов Е. К., Сахариев Б. С., Амитов Е. Т.

К вопросу обеспечения электроэнергией спасательных и других неотложных работ при землетрясениях.....31

Мурат А. К., Соколов С. Е., Сағынбек Р. Б., Умбеткулов Е. К., Соколова И. С.

Исследование и моделирование управляемых шунтирующих реакторов с подмагничиванием постоянным током в PSCAD/EMTDC.....39

Ибраева Л. К., Каргашов Е. О.

Разработка и исследование распределенной системы энергоснабжения на базе возобновляемых источников энергии.....48

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И КОММУНИКАЦИОННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Туржанова К. М.

Анализ подходов и выбор показателей оценки эффективности функционирования сетей мобильной связи 4G/5G при оказании услуг интернета вещей.....57

Солощенко А. В.

Оптимизация радиопокрытия и балансировка нагрузки в сетях сотовой связи 4-ого поколения.....65

Murat A., Imanbayeva A. K.

Dynamic analysis of a modified duffing oscillator72

КОСМИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И РОБОТОТЕХНИКА

- Сухенко А. С., Бопеев Т. М., Шаповалова Д. Л., Фоменко А. Е., Елубаев С. А.**
Программно-математическое обеспечение аппаратно-программного комплекса для наземных испытаний системы ориентации спутников и БПЛА.....80

АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

- Хан С. Г., Макишев А. Қ.**
Разработка и исследование алгоритма и программы управления системы распределенного теплоснабжения..... 87

- Бияшев Р., Алгазы К., Дюсенбаев Д., Сақан К.**
Результаты линейного криптоанализа шифра QAMAL.....96

- Жақсылық Г. О., Кулмагамбетова Ж. К.**
Arduino платформасы негізіндегі қол жеткізуді бақылау және басқару жүйесінің құрылымдық және функционалдық сызбасын әзірлеу.....106

- Брейдо И. В., Вяткин В., Котов Е. С.**
Система пред – и послеаварийного контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования..... 114

- Brimzhanova S.S., Atanov S.K., Moldamurat Kh., Tankibaeva A.K., Sailau A.Zh.**
Implementation of an intelligent testing system application.....122

- Құмалақов Б., Шақан Я.**
Blockchain in education: how to manage student credits of higher education through the blockchain?.....128

- Мансурова М. Е., Қадырбек Н. Қ., Мисебай А. М., Қырғызбаева М. Е.**
Қазақ тіліндегі сөйлемдер үшін тәуелділік ағаштарын құру.....134

- Мансурова М. Е., Досанов Б. Б., Чикибаева Д. Ю.**
Мәтіндерден атаулы мәндерді алу үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану.....142

ВОПРОСЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ, ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

- Сериков Э. А.**
К вопросу планирования учебной нагрузки студентов в кредитах ECTS.....148



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.311

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. АЛМАТЫ С РАССМОТРЕНИЕМ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Е.А. Джунусов*, В.В. Стояк

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: jerzhan@gmail.com

***Аннотация.** В статье произведен анализ существующей системы теплоснабжения г. Алматы и основные направления развития теплоснабжения на перспективу. Рассмотрена возможность реконструкции котельной г. Алматы с помощью внедрения когенерационных технологий для снижения негативного влияния в атмосферу традиционных ТЭЦ, работающих на угле. Предложены решения по развитию системы распределенного теплоснабжения с созданием микросетей.*

***Ключевые слова:** система распределенного теплоснабжения, энергетическая эффективность, когенерация, микросети, малая энергетика.*

Введение

В настоящее время теплоснабжение г. Алматы обеспечивается за счет системы центрального теплоснабжения (далее – СЦТ). Как известно, данная система имеет большие недостатки в плане обслуживания и эффективности, это обусловлено большим физическим и моральным износом основного и вспомогательного оборудования теплосети, что в свою очередь приводит к увеличению затрат на обслуживание, ремонт и замену сетей и увеличению отпускного тарифа на тепловую энергию. Для решения этих проблем предлагается создание микросетей распределенного теплоснабжения, что повысит энергоэффективность системы теплоснабжения отдельных потребителей и снизит негативное влияние традиционных энергоисточников, работающих на угле, на экологическую обстановку г. Алматы.

Современное состояние системы теплоснабжения г. Алматы.

Преобладающее развитие получила система теплофикации на базе комбинированной выработки тепла и электроэнергии от ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и котельных ЗТК АО «АлЭС», которая обслуживает потребителей центральной, западной и восточной части города и обеспечивает 45% общей тепловой нагрузки города. Основным видом топлива в этой системе является уголь – 80%. Доля сжигаемого газа составила в 2018 г. – 18%, доля мазута – 2%.

Вторая по величине система централизованного теплоснабжения сформировалась в Южной зоне на базе районных котельных ТОО «АТКЭ»: "Орбита", Южная и Юго-Восточная, которая обеспечивает 10% от общей тепловой нагрузки города. Основное топливо – газ.

В Северной зоне действует небольшая система ЦТ на базе Северо-Восточной котельной (СВК ТОО «АТКЭ»), которая обеспечивает 1% от общей тепловой нагрузки города. Основное топливо – газ.

В Западной части города формируется зона ЦТ на базе новой котельной «Аккент» ТОО «АТКЭ». Основное топливо – газ.

В Наурызбайском районе формируется зона ЦТ на базе новой котельной «Елим-Ай» (пос. Шугыла) тепловой мощностью 98 Гкал/ч. Основное топливо – газ.

Теплоснабжение потребителей, расположенных вне зон централизованного теплоснабжения (43% потребности города в теплоэнергии), обеспечивается от локальных котельных ТОО «АТКЭ» и

индивидуальных источников теплоснабжения (мелких промышленных, коммунальных котельных, автономных систем отопления и отопительных печей). Преобладающее топливо – газ. Территория вне зон ЦТ в настоящей работе объединена под общим названием – зона децентрализованного теплоснабжения (ДЦТ), максимальную единичную мощность в этой зоне имеет котельная "Кокжиек" ТОО «АТКЭ» (33 Гкал/ч), обслуживающая одноименный удаленный микрорайон в зоне ДЦТ [1].

В таблице 1 приведены основные характеристики системы теплоснабжения г. Алматы по зонам теплоснабжения и сложившаяся структура обеспечения нагрузок в горячей воде по состоянию на конец 2018 г. в границах г. Алматы с учетом присоединенных территорий.

От систем ЦТ обеспечивается 65% тепловой нагрузки в горячей воде городских потребителей. ЦТ получило развитие в большей или меньшей степени во всех районах города.

Степень централизации теплоснабжения промышленных потребителей с учетом предприятий малого и среднего бизнеса (МСБ) выше, чем потребителей жилищно-коммунального сектора (83% против 65%). [2]

Таблица 1. Основные характеристики системы теплоснабжения г. Алматы по зонам теплоснабжения по состоянию на конец 2018 г. [3]

Наименование	Установленная мощность		Располагаемая мощность		Присоединенная тепловая нагрузка	
	№, МВт	Qt, Гкал/ч	№, МВт	Qt, Гкал/ч	Гкал/ч	%
Зоны централизованного теплоснабжения	655	4 542	513	3 724	3 590	58
<i>Зона теплофикации АО «АлЭС»</i>	<i>655</i>	<i>3 714</i>	<i>513</i>	<i>2 940</i>	<i>2 900</i>	<i>47</i>
<i>Южная зона ЦТ ТОО «АТКЭ»</i>		<i>485</i>		<i>465</i>	<i>600</i>	<i>10</i>
<i>Северная зона ЦТ ТОО «АТКЭ»</i>		<i>90</i>		<i>78</i>	<i>40</i>	<i>1</i>
<i>Зона котельной «Аккент» ТОО «АТКЭ»</i>		<i>155</i>		<i>148</i>	<i>30</i>	<i>0,5</i>
<i>Зона котельной «Елим-Ай»</i>		<i>98</i>		<i>93</i>	<i>20</i>	<i>0,3</i>
Зоны децентрализованного теплоснабжения		2 693		2 486	2 585	42
Всего по г. Алматы	655	7 235	513	6 210	6 175	100

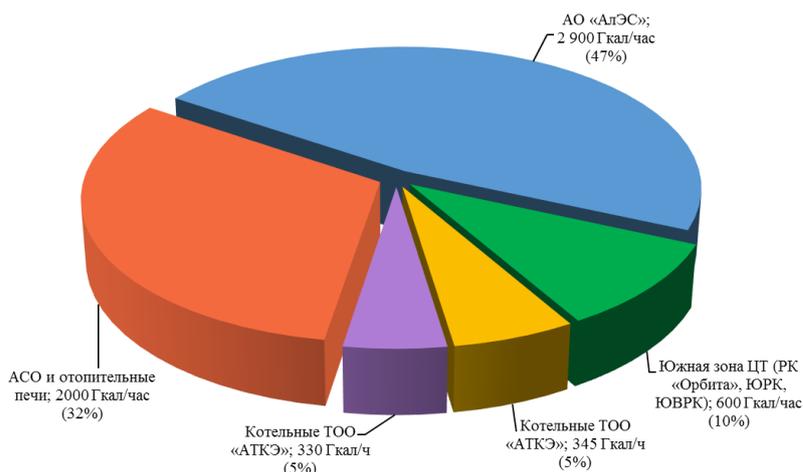


Рисунок 1 – Структура обеспечения существующих тепловых нагрузок потребителей г. Алматы в горячей воде

Основные направления развития теплоснабжения на перспективу

Планируемое развитие г. Алматы диктует необходимость развития системы теплоснабжения во всех ее звеньях как одной из важнейших систем обеспечения жизнедеятельности города.

Исходя из возможности увеличения поставок газа в г. Алматы и анализа приведенных выше предпосылок по определению основных направлений организации надежного теплоснабжения г.

Алматы в период до 2030 г., в качестве основной концепции развития системы теплоснабжения города предлагается развитие источников тепла за счет модернизации и реконструкции с заменой устаревшего оборудования на новое с применением когенерации.

С учетом вышеизложенного в таблице 2 приведено обеспечение тепловых нагрузок в горячей воде потребителей г. Алматы и перспективных территорий в период до 2030 г. по зонам теплоснабжения.

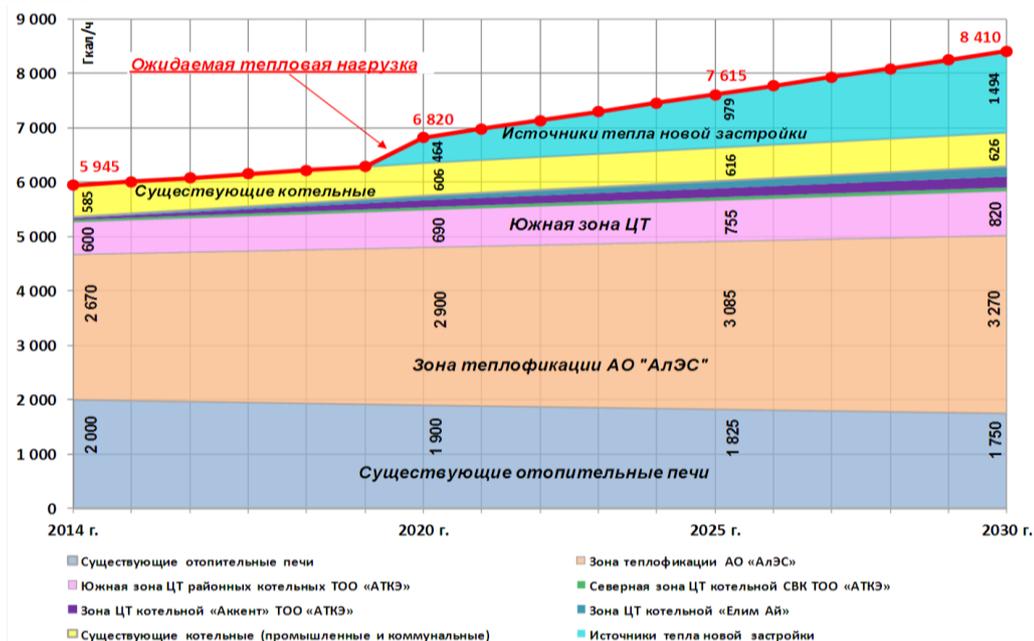


Рисунок 2 - Прогноз обеспечения тепловых нагрузок до 2030 г. (с учетом потерь) [3]

Таблица 2. Обеспечение тепловых нагрузок в горячей воде потребителей г. Алматы и перспективных территорий в период до 2030 г. по зонам теплоснабжения, Гкал/ч [2]

Наименование зон теплоснабжения	2018 г.	2030 г.
В границах городской черты, всего	5615	6641
в том числе		
Зона ЦТ	3770	4355
Зона теплофикации АО «АлЭС»	2900	3270
Южная зона ЦТ районных котельных ТОО «АТКЭ», в числе	690	820
<i>ЮВРК</i>	168	200
Северная зона ЦТ котельной СВК ТОО «АТКЭ»	130	200
Зона ЦТ котельной «Акцент» ТОО «АТКЭ»	50	65
Зона ДЦТ	1845	2286
Присоединенные территории по указу Президента РК №798 от 16.04.2014 г.	1156	1367
Территории перспективного освоения по эскизу Генерального плана за пределами границ г. Алматы	49	402
ВСЕГО	6820	8410

Перевод ЮВРК на когенерационные установки

Учитывая факт значительного износа оборудования котельной, экологическую безопасность города и имеющиеся технические условия по подаче и потреблению природного газа, видится перспективным в недалеком будущем проект реконструкции котельной и полной замене оборудования на передовое, наиболее эффективное, основанное на принципе когенерации.

Главное преимущество когенератора перед обычными котельными состоит в том, что преобразование энергии здесь происходит с большей эффективностью. Применение когенератора существенно сокращает расходы на энергообеспечение. Когенераторы являются альтернативой существующему энергообеспечению. [5]

Рассмотрим вариант полного перевода котельной ЮВРК на когенерационные установки (газотурбинные и газопоршневые энергетические установки). В зависимости от критериев и требуемого результата, выбирается та или иная технологию.

Исходя из данных перспективных тепловых нагрузок зоны теплоснабжения ЮВРК, которая в соответствии с таблицей 2 составляет 200 Гкал/ч, можно рассмотреть когенерационную станцию электрической мощностью от 220 до 240 МВт. Однако для достижения первоначальной установленной тепловой мощности котельной, требуется стабильный, круглогодичный расход ПГ около 54 000 м³/час.

Полный перевод ЮВРК на когенерационные установки подразумевает собой полную остановку котельной с постепенным демонтажем основного оборудования. Участок для когенерационной электростанции (далее - КГЭС) стационарного типа на существующей территории. Этой территории достаточно для строительства КГЭС, при условии, что будет эксплуатироваться прежнее вспомогательное оборудование и инженерная сеть, или же будет возведена новая инфраструктура на прежних местах.

Выработка энергии посредством КГЭС позволит сократить расход первичного ископаемого топлива угля в сравнении с традиционной ТЭЦ (для сравнения принята Алматинская ТЭЦ-2), вследствие чего сократятся и выбросы парниковых газов в атмосферу. Это позволит в свою очередь применить механизмы Киотского Протокола и получать дополнительную прибыль от продаж углеродных единиц ERU. [6]

Рассмотрим экономическую картину двух вариантов полного перевода котельной на КГЭС:

1. Строительство газотурбинной электростанций на базе парогазовой установке (далее – ПГУ) 2 блока 1x1 на базе ГТУ, 2xКУ и 2xПТ в комбинированном цикле (Дженерал Электрик) единичной мощностью 110,5 МВт. Суммарная мощность станций 221 МВт. Возведение всей станции под ключ потребует капвложений в 76 млрд. тенге.

2. Строительство газопоршневой электростанций на базе 15 газопоршневых установок (далее – ГПУ) от GE Jenbacher. Единичная мощность установки 10 МВт. Суммарная мощность станций 240 МВт. Возведение всей станции под ключ потребует капвложений в 83 млрд. тенге.

Таблица 3. Предварительный экономический расчет строительства газопоршневой электростанции и газотурбинной электростанции.

Параметр	ГПУ на природном газе GE Jenbacher	ПГУ на природном газе (Дженерал Электрик)
Единичная электрическая мощность, кВт	10000	110500
Единичная тепловая мощность, Гкал/час	8,60	90,00
Количество единиц оборудования	24	2
Суммарная электрическая мощность, кВт	240 000	221 000
Электрический КПД, %	42,0%	43,3%
Суммарная тепловая мощность, Гкал/час	206	180
Теплота сгорания природного газа, ккал/м ³	8 686	8 686
Цена природного газа, тенге/1000м ³ без НДС [4]	27 365,37	27 365,37
Стоимость установленного кВт, тенге	344 000	344 000
Капитальные затраты на строительство электростанции, всего тенге без НДС:	82 560 000 000	76 024 000 000
Энергозатраты и средства на хоз. нужды		
Общие издержки, тенге/год без НДС	18 510 606 555	17 513 945 994
Фонд заработной платы, тенге/год	43 344 000	43 344 000
Общие издержки по персоналу, тенге/год	49 536 000	49 536 000
Тариф на продажу электроэнергии, тенге/кВтч без НДС	24,00	24,00
Тариф на продажу тепла, тенге/Гкал без НДС	6 694,29	6 694,29
РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ		
Тепло и электроэнергия утилизируются заданное количество часов в году согласно тепловому графику		

Параметр	ГПУ на природном газе GE Jenbacher	ГПУ на природном газе (Дженерал Электрик)
число часов утилизации тепла в год	6 000	6 000
число часов использования номинальной электрической мощности в год	6 000	6 000
Объем пр-ва электроэнергии, кВтч/год	1 440 000 000	1 326 000 000
Объем пр-ва тепла, Гкал/год	1 238 400	1 080 000
Выручка от продажи электроэнергии, тенге/год	34 560 000 000	31 824 000 000
Выручка от продажи тепла, тенге/год	8 290 208 736	7 229 833 200
Годовые затраты по эксплуатации станции, тенге/год	18 560 142 555	17 563 481 994
Годовая прибыль, тенге/год	24 290 066 181	21 490 351 206
Простой срок окупаемости капит. затрат, мес.	41	42
Средняя норма рентабельности IRR, %	6,94	5,17

Примечание: Все расчеты велись при условии, что станция строится за счет местного или республиканского бюджета.

Реализация ГПУ позволит снизить выбросы твердых вредных веществ в окружающую среду г. Алматы только в межотопительный период, при условии вывода из работы существующей части ТЭЦ-2, работающей на угле, в зимний период существующая часть ТЭЦ-2 будет работать по тепловому графику, обеспечивая покрытие тепловых нагрузок. Реализация проекта по строительству ГПУ позволит снизить выбросы твердых вредных веществ в атмосферу до 49%, золошлаковых отходов на 42%, окислов серы на 43%, окислов азота на 43%. Выбор данного варианта приведет к значительному расходу денежных средств на покупку оборудования и строительство новой станции, но не достигаются в полной мере снижения значения выбросов вредных веществ в окружающую среду, которую оказывает в данное время ТЭЦ-2.

Таблица 4. Сравнительная таблица динамики выбросов твердых вредных веществ при текущем состоянии на ТЭЦ-2 и при строительстве и эксплуатации новой ГПУ

№ п/п	Наименование	Текущее состояние ТЭЦ-2	При строительстве ГПУ влияние на ТЭЦ-2
1.	Расход топлива:		
	уголь, тыс.тонн	2 289,0	1301,0
	газ, млн.м ³		507,53
2.	Выбросы вредных веществ:		
	Пыль (зола угля), тыс.тонн	5,159	2,596
	Окислы серы SO _x , тыс.тонн	16,985	9,692
	Окислы азота NO _x , тыс.тонн	7,959	4,541
	Золошлаковые отходы (далее – ЗШО), тыс.тонн	936,300	542,83

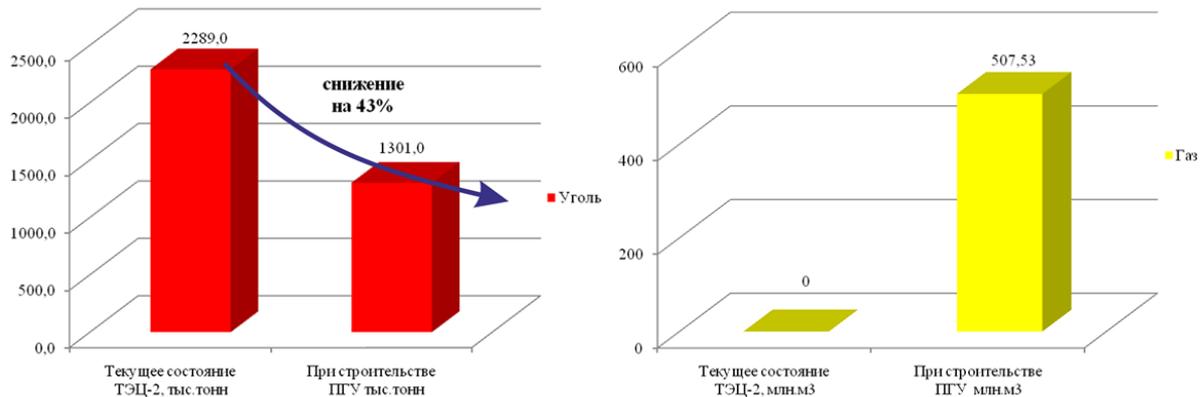


Рисунок 3 - Динамика расхода топлива при текущем состоянии на ТЭЦ-2 и при строительстве и эксплуатации новой ПГУ

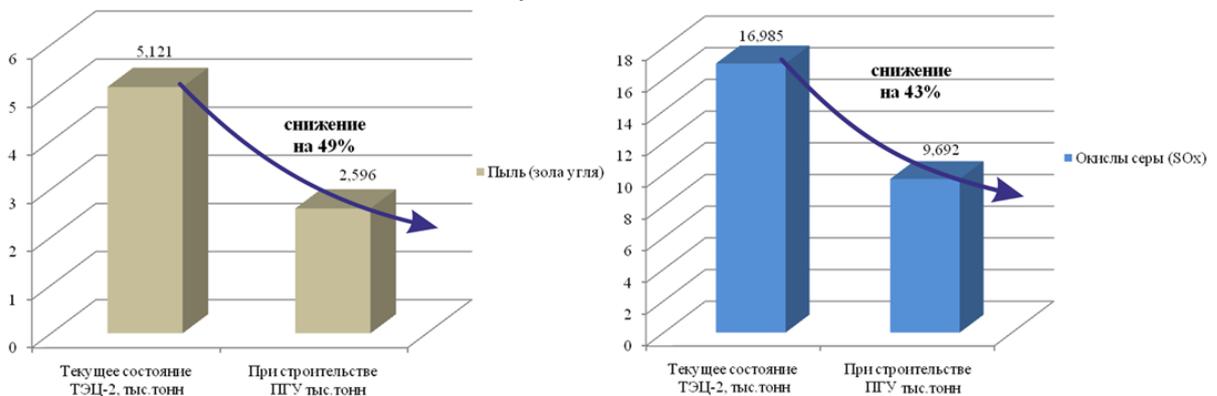


Рисунок 4 - Динамика выбросов твердых вредных веществ и окислов серы (SOx) при текущем состоянии на ТЭЦ-2 и при строительстве и эксплуатации новой ПГУ

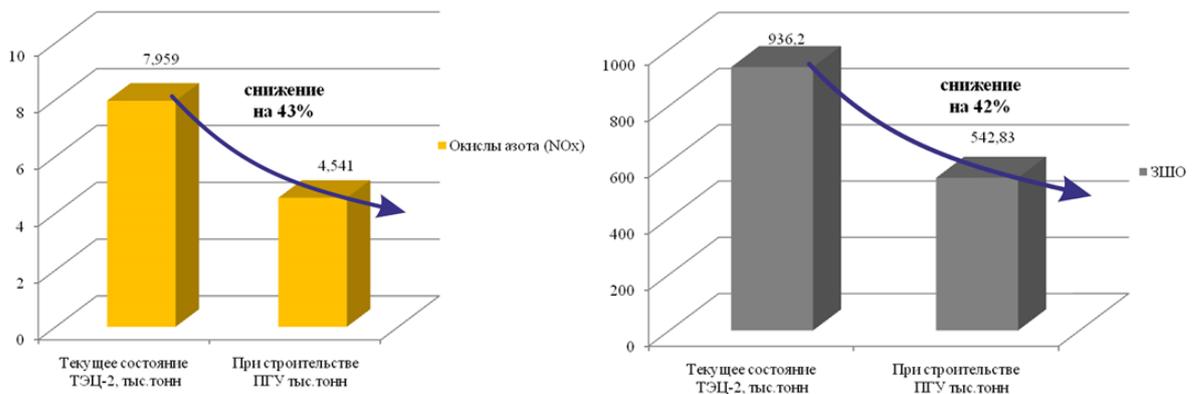


Рисунок 5 - Динамика выбросов окислов (NOx) азота и образования ЗПО при текущем состоянии на ТЭЦ-2 и при строительстве и эксплуатации новой ПГУ

Распределенная генерация тепловой энергии в микросетях

Исследования в области микросетей в настоящее время заметно прогрессируют. В статье рассмотрен переход к инновационным системам 4-го поколения с интеграцией в энергосистемы интеллектуальных тепловых сетей с созданием виртуальных теплоэлектроцентралей – VHPP. Принципиальным отличием VHPP является интеллектуальное управление генерацией, транспортом и потреблением тепловой, электрической энергии и холода, как единым технологическим процессом в будущих устойчивых распределенных энергосистемах. При этом управление распределенными элементами системы (энергетическими ячейками) осуществляется энергетическими транзакциями. Такое управление возможно за счет образования микросетей, которые интегрированы в общую систему теплоснабжения, что позволит повысить роль потребителя в управлении энергосистемой.

Создание интеллектуальной сети имеет большой потенциал для обеспечения более высокой надежности, устойчивости и экологической безопасности по сравнению с традиционной энергетической системой. Такие системы в плане энергосбережения являются в несколько раз эффективнее традиционных. [7]

Для анализа эффективности микросети, разработано схемное решение интеллектуальной тепловой сети (рисунок – 6), которое направлено на повышение энергоэффективности системы теплоснабжения данного участка. Основным источником энергии служат две маломощные ГТУ (1) с котлами утилизаторами с установленной мощностью по 2,8 МВт каждая. В микросети имеется две категории потребителей, первая только потребляет тепловую энергию (2), вторая категория имеет установки по производству тепловой энергии, это административное здание с солнечным коллектором (4) и развлекательный центр, который имеет систему вентиляции с теплообменником для утилизации отводимого тепла (3). Согласно заданным параметрам, по температуре наружного воздуха определяется требуемая нагрузка потребителей и передается на энергоисточник для отпуска необходимого количества тепловой энергии. Потребители второй категории имеют возможность при избытке тепловой энергии передавать тепло в микро сеть. Также данная микросеть при производстве электрической энергии энергоисточником и низком тепловом потреблении с помощью цифрового теплосилового интерфейса (5), имеет возможность обеспечить экспорт тепловой энергии, передавая излишки в СЦТ. Все эти процессы регулируются и управляются за счет системы SCADA DHPMS распределенной генерацией тепловой энергии с учетом краткосрочного прогноза погоды и включения в систему управления комплекса сервисных приложений для организации энергетических транзакций. [8]

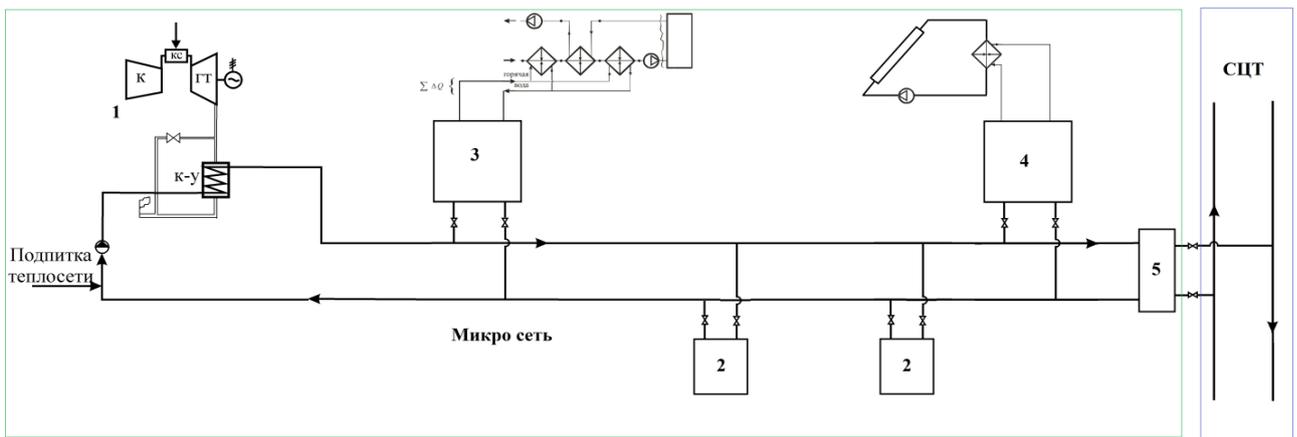


Рисунок 6 – принципиальная схема распределенной генерации на примере микросети

Для анализа эффективности данной системы, проведен предварительный экономический расчет рентабельности проекта. [9]

Таблица 6. Предварительный экономический расчет организации микросети теплоснабжения с системой управления SCADA DHPMS.

Параметр	ГТУ на природном газе
Единичная электрическая мощность, кВт	2800
Единичная тепловая мощность, Гкал/час	4,0
Количество единиц оборудования	2
Суммарная электрическая мощность, кВт	5 600
Электрический КПД, %	44,0%
Суммарная тепловая мощность, Гкал/час	8,0
Капитальные затраты на организацию микросети, всего тенге без НДС, в том числе:	1 766 159 600
<i>Капитальные затраты на строительство электростанции тенге без НДС:</i>	<i>1 747 200 000</i>
<i>Капитальные затраты на цифровой силовой интерфейс, тенге без НДС</i>	<i>15 409 600</i>
<i>Капитальные затраты на теплообменник, тенге без НДС</i>	<i>250 000</i>
<i>Капитальные затраты на SCADA, тенге без НДС</i>	<i>1 200 000</i>

Капитальные затраты на солнечного коллектора, тенге без НДС	2 100 000
Энергозатраты и средства на хоз. нужды	
Общие издержки, тенге/год без НДС	442 610 222
Фонд заработной платы, тенге/год	10 836 000
Общие издержки по персоналу, тенге/год	12 384 000
Тариф на продажу электроэнергии, тенге/кВтч без НДС	24,00
Тариф на продажу тепла, тенге/Гкал без НДС	6 694,29
ВАРИАНТЫ РЕЖИМОВ РАБОТЫ	
I. Все тепло выбрасывается; число часов использования номин. электр. мощности в год	8 000
Объем пр-ва электроэнергии, кВтч/год	44 800 000
Выручка от продажи электроэнергии, тенге/год	1 075 200 000
Годовые затраты по эксплуатации станции, тенге/год	454 994 222
Годовая прибыль, тенге/год	620 205 778
Простой срок окупаемости капит. затрат, мес.	34
Средняя норма рентабельности IRR, %	9,35
II. Тепло и электроэнергия утилизируются заданное количество часов в году	
число часов утилизации тепла в год	8 000
число часов использования номинальной электрической мощности в год	8 000
Объем пр-ва электроэнергии, кВтч/год	44 800 000
Объем пр-ва тепла, Гкал/год	48 386
Выручка от продажи электроэнергии, тенге/год	1 075 200 000
Выручка от продажи тепла, тенге/год	431 877 338
Годовые затраты по эксплуатации станции, тенге/год	454 994 222
Годовая прибыль, тенге/год	1 052 083 116
Простой срок окупаемости капит. затрат, мес.	20
Средняя норма рентабельности IRR, %	33,81

Примечание: Все расчеты велись при условии, что станция строится за счет местного или республиканского бюджета.

Согласно проведенному предварительному анализу можно сделать вывод, что организация микросети теплоснабжения с системой управления SCADA DHPMS показывает более высокую эффективность по сравнению с переводом действующей котельной на когенерацию, технико-экономические показатели значительно улучшились, к примеру срок окупаемости проекта сократился на 22 месяцев, а средняя норма рентабельности увеличилась на 29%, что говорит о повышении привлекательности отрасли для инвестирования.

Выводы

Учитывая вышеизложенный анализ, развитие теплоэнергетического комплекса г.Алматы на перспективу следует ориентировать на:

- замену устаревшего основного и вспомогательного оборудования теплоисточников на современное с более высоким КПД;
- максимальное использование комбинированного производства тепла и электроэнергии (когенерации), что позволит повысить эффективность использования тепла топлива, сократить удельные расходы топлива и выбросы на единицу произведенной продукции;
- уменьшение потерь в тепловых сетях за счет реконструкции и модернизации с использованием современных технологий с системой контроля, насосных станций с применением высокоплотной арматуры и регулирующим приводом, диспетчеризации с автоматизацией технических процессов;
- наряду с традиционными котельными на органическом топливе (главным образом – природном газе) могут рассматриваться возможности использования экологически чистых

нетрадиционных источников теплоснабжения на базе геотермальных ресурсов, гелиосистем и различных способов электротеплоснабжения (например, теплонасосные установки).

За пределами 2030 года необходимо ограничить развитие действующей системы централизованного теплоснабжения г. Алматы с целью повышения ее эффективности.

Обеспечение теплом нового строительства необходимо ориентировать на собственные энергоисточники и автономные системы теплоснабжения на газе с использованием экологически чистых нетрадиционных источников теплоснабжения.

Технология сжигания природного газа и мощность теплоисточника должны определяться в каждом конкретном случае при разработке проектной документации объектов теплоснабжения с учетом подключаемой тепловой нагрузки. Газификация Алматинской агломерации в необходимых количествах позволит перейти на использование современных газотурбинных и парогазовых технологий. При точечном размещении застройки теплоснабжение должно предусматриваться от новых систем отопления с учетом распределенной генерации с управлением системы SCADA DHPMS распределенной генерацией тепловой энергии с учетом краткосрочного прогноза погоды, оборудованных современными, высокоэффективными малогабаритными теплогенераторами, работающими на газе, с подключением одного или группы зданий. Учитывая особенность климата и характер застройки, следует применять энергосберегающие технологии и максимально использовать потенциал вторичных энергоресурсов, что позволит системе соответствовать современным требованиям по энергоресурсосбережению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Корректировка Генерального плана города Алматы. Пояснительная записка. Инженерное оборудование территории. Том 5. Разработанный ТОО «Проектный институт «Алматыгипрогор-1». Алматы, 2016.

[2] Данные ГУ «Управление предпринимательства и промышленности г. Алматы» по перечню существующих и намечаемых к реконструкции и строительству крупных и средних промышленных предприятий г. Алматы. 2018 г.

[3] Материалы "Корректировки схемы теплоснабжения г. Алматы на 2020 г. с перспективой до 2030 г.", разработанной АО «Институт «КазНИПИЭнергопром». 2013 г.

[4] Розничные цены реализации товарного газа для потребителей АО «КазТрансГаз Аймак» с 01.09.2019 г. www.ktga.kz

[5] Маляренко В. А. Перевод котельных в режим когенерации путем внедрения турбин малой мощности / В.А. Маляренко, И.А. Темнохуд, А.В. Сенецкий, А.Ю. Петров // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Васеленка – Харків: ХНТУСГ 2014, №153. – С. 110-111.

[6] Ахтулов А.Л., Ахтулова Л.Н., Леонов Е.Н., Смирнов С.И., Пегухова Н.Н. Интеграционные технологии при создании малых электротехнических систем и комплексов на основе методологии когенерации // Омский научный вестник. 2014. № 2 (130). С. 145-151.

[7] R.H. Lasseter, "Microgrids and distributed generation", J. Energy Eng., vol. 133, no. 3, pp. 144-149, Sep. 2007.

[8] Архитектура Интернета энергии. (Internet of Distributed. Energy Architecture). Подготовлено Центром Развития Цифровой Энергетики. White Paper 2018. 47с.

[9] Обоскалов В. П., Померанец Д. И. (2013) Оценка эффективности применения устройств распределенной генерации с учетом динамики цен на энергоносители // Промышленная энергетика. № 9. С. 2-7.

LIST OF REFERENCES

[1] Adjustment of the General Plan of the city of Almaty. Explanatory note. Engineering equipment of territories. Volume 5. Developed by "Design Institute "Almatyiprogor-1 LLP". Almaty 2016.

[2] The data of the State Institution "Management of Entrepreneurship and Industry of Almaty" according to the list of existing and planned for reconstruction and construction of large and medium-sized industrial enterprises in Almaty. 2018

[3] Materials "Adjustments to the heat supply scheme of Almaty for 2020 with a prospect up to 2030" developed by JSC Institute KazNIPIEnergoprom. 2013

[4] The retail selling price of commercial gas to consumers of JSC "KazTransGas Aimak" from 01.09.2019, the www.ktga.kz

[5] Malyarenko V.A. Translation of boilers into cogeneration mode by introducing low power turbines / VA Malyarenko Маляренко, И.А. Темнохуд, А.В. Сенетский, А.Ю. Петров // Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture. P. Vaselenko - Kharkiv: KhNTUSG 2014, №153. - P. 110-111.

[6] Akhtulov A.L., Akhtulova L.N., Leonov E.N., Smirnov S.I., Pegukhova N.N. Integration technologies in the creation of small electrical systems and complexes based on the cogeneration methodology // Omsk Scientific Bulletin. 2014. No. 2 (130). S. 145-151.

[7] R.H. Lasseter, "Microgrids and distributed generation", J. Energy Eng., vol. 133, no. 3, pp. 144-149, Sep. 2007.

[8] Internet of Distributed. Energy Architecture. Prepared by Digital Energy Development Center. White Paper 2018. S. 47.

[9] Oboskalov VP Pomeranets DI (2013) Evaluating the effectiveness of distributed generation devices based on the dynamics of energy prices // Industrial power. No. 9. S. 2-7.

ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ҮШІН ПЕРСПЕКТИВАЛЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІГІН ҚАРАСТЫРА ОТЫРЫП, АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ

Е.А. Джунусов*, В.В. Стояк

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан,
e-mail: jerzhan@gmail.com

Аңдатпа. Мақалада Алматы қаласының жылумен жабдықтау жүйесіне және жылумен жабдықтауды дамытудың негізгі бағыттарына талдау жүргізілді. Көмірмен жұмыс істейтін дәстүрлі ЖЭО-ның атмосфераға кері әсерін төмендету үшін когенерациялық технологияларды енгізу арқылы Алматы қаласының қазандықтарын қайта құру мүмкіндігі қарастырылды. Шағын желілерді құру арқылы бөлінген жылумен жабдықтау жүйесін дамыту бойынша шешімдер ұсынылды.

Түйін сөздер: бөлінген жылумен жабдықтау жүйесі, энергетикалық тиімділік, когенерация, микро желілер, кіші энергетика.

ANALYSIS OF THE ENERGY AND ENVIRONMENTAL STATUS OF THE EXISTING HEAT SUPPLY SYSTEM IN ALMATY WITH CONSIDERATION OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF PROMISING TECHNOLOGIES FOR HEAT SUPPLY

Ye.A. Junussov*, V.V. Stoyak

Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", Almaty, Kazakhstan
e-mail: jerzhan@gmail.com

Annotation. An analysis of the existing heat supply system of Almaty and the main directions of development of heat supply for the future is made in the article. The possibility of reconstruction of the boiler house of Almaty using the introduction of cogeneration technologies to reduce the negative impact of traditional coal-fired power plants operating on coal into the atmosphere has been considered. Solutions for the development of a distributed heat supply system with the creation of micro-networks are proposed.

Keywords: distributed heating system, energy efficiency, cogeneration, micro network.



УДК 621.18.018

Отозвана/Retracted, 05.10.2020

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В ЗОНЕ СЕПАРАЦИИ ЧАСТИЦ НОВОГО ЗОЛОУЛАВЛИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

А. А. Шишкин^{1,2*}, А. А. Шишкин^{1,2}, Н. Н. Душкина^{1,2}

¹ТОО «КазНИИ энергетики имени акад. Ш.Ч.Чокина», г. Алматы, Республика Казахстан

²Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: shishkin3777@mail.ru

Аннотация. Приведены экспериментальные результаты исследования на физической модели влияния конструктивно-режимных параметров нового золоулавливающего устройства на аэродинамическую структуру дисперсного потока в зоне сепарации частиц. Ранее проведенное исследование методом математического моделирования выявило особенности аэродинамической структуры потока в данной зоне и пылевой камере, которые теперь подтверждены экспериментально и могут быть использованы для повышения эффективности золоулавливания данным золоулавливающим устройством.

Ключевые слова: котельный агрегат; топочные газы; зола уноса; эффективность улавливания частиц золы; повышение эффективности теплообмена; снижение абразивного воздействия.

Введение

При использовании в теплоэнергетике высокозольных углей проектные системы золоулавливания работают недостаточно эффективно с выбросом в окружающую среду повышенных объемов летучей золы и нанесением ущерба теплообменному оборудованию из-за образования отложений зольных частиц и абразивного износа поверхностей теплообмена. Данные проблемы касаются, прежде всего, электростанций, использующих в качестве энергетического топлива высокозольные угли. Решение данной проблемы путем обогащения высокозольных углей, например таких, как Экибастузский уголь, оказалось невозможным из-за высокой насыщенности органической массы неотделимыми от нее тонкодисперсными минеральными примесями [1].

Предпосылками к поиску новых решений по повышению эффективности работы теплоэнергетического оборудования является все более возрастающее несоответствие между нормативными требованиями к работе пылеугольных ТЭС и их недостаточной технико-экономической и экологической эффективностью. Большинство известных технических решений для золоулавливания разработаны, в основном, для снижения воздействия летучей золы на окружающую среду [2]. Поскольку проектные системы золоулавливания располагаются на оконечном участке дымового тракта котлоагрегата, они не могут противодействовать абразивному износу поверхностей теплообмена и образованию на них плотных отложений золы. Из ранее предложенных решений для снижения содержания зольных частиц в топочных газах до попадания их в конвективную шахту теплообмена, можно отметить решения [3-5].

В решении [3] предложено применение устройства в виде V-образных желобов с ловушками для частиц и каналов со сборными бункерами. Набегающий поток топочных газов обтекает улавливающие элементы, а зольные частицы по инерции попадают в ловушки и направляются в сборный бункер. Недостатками устройства являются сложность, громоздкость конструкции и его малая надежность.

В решении [4] входной участок золоулавливающего устройства улиточной формы предназначен для закручивания потока топочных газов с отводом крупнодисперсных частиц золы к стенке с отводом в бункер, а топочные газы с уменьшенным содержанием частиц направляются в

конвективную шахту теплообмена. Недостатком данного решения является его крупные габариты, сложность, повышенные материальные и трудозатраты при создании и восстановительных ремонтах оборудования.

В источнике [5] предложено устройство в виде металлических полос в ответвлении конвективной шахты и средств для удаления уловленных частиц. Недостаток устройства в обработке лишь части потока, поступающего в конвективную шахту.

При этом данные по проведению исследований этих трех решений отсутствуют.

Предложенное авторами настоящей статьи техническое решение [6] в виде нового золоулавливающего устройства (ЗУУ) предназначено для снижения влияния высокой зольности и абразивных свойств высокзолыного угля технологическими средствами и повышения технико-экономической и экологической эффективности работы пылеугольных котлоагрегатов ТЭС. Было проведено предварительное исследование данного ЗУУ методом математического моделирования [7]. Анализ результатов выявил интересные изменения в аэродинамической структуре дисперсного потока, связанные с введением ЗУУ в канал газохода котельного агрегата. В частности было отмечено значительное возрастание концентрации зольных частиц у основания канала ЗУУ после его суженного участка, а также наличие циркуляционного течения в верхней части канала за его суженным участком и крупномасштабных вихрей в пылевой камере, зависящих от параметров данного ЗУУ.

С целью получения дополнительной информации к результатам математического моделирования было проведено дополнительное исследование аэродинамической структуры на участке сепарации частиц данного ЗУУ экспериментальным методом.

Материалы и методы

Поскольку проведение экспериментального исследования на натурном котле практически невозможно, данное исследование проводилось на его физической модели. Ввиду отсутствия общепризнанного подхода к созданию физической модели подобной натурному объекту, результаты, полученные на опытно-лабораторной модели, следует рассматривать как приближенные. Однако в дополнение к результатам ранее проведенного исследования аналогичной задачи методом математического моделирования они могут оказаться полезными в поиске решений по повышению эффективности улавливания зольных частиц исследуемым устройством.

Для создания модели ЗУУ за основу взяты общие принципы физического моделирования [8, 9] с обеспечением геометрического и приближенного гидродинамического подобия модели натурному объекту. Геометрическое подобие обеспечивалось идентичностью конструкции натурального объекта и его модели в масштабе $M1:22,5$. В качестве критерия гидродинамического подобия принято равенство соотношений основных сил, действующих на частицу в двухфазном потоке в опытно-лабораторной модели и натурном объекте. В рассматриваемом случае основными силами, определяющими поведение твердых частиц в дисперсном потоке, являются центробежная сила и сила внутреннего трения (сила Стокса). В этом случае, как показывают оценки, влияние других сил оказывается пренебрежимо малым.

На основе такого подхода была создана физическая опытно-лабораторная модель участка газохода котла с введенным в него ЗУУ, геометрически подобная натурному объекту в масштабе $M1:22,5$. Гидродинамическое подобие модели обеспечивалось приближенным равенством критериев Стокса ($St_m = F_{цб}/F_{ст}$) модели и натурны в геометрически идентичной области течения в обоих объектах.

Для проведения экспериментов была разработана экспериментальная установка с опытно-лабораторной моделью и основным оборудованием (рис. 1):

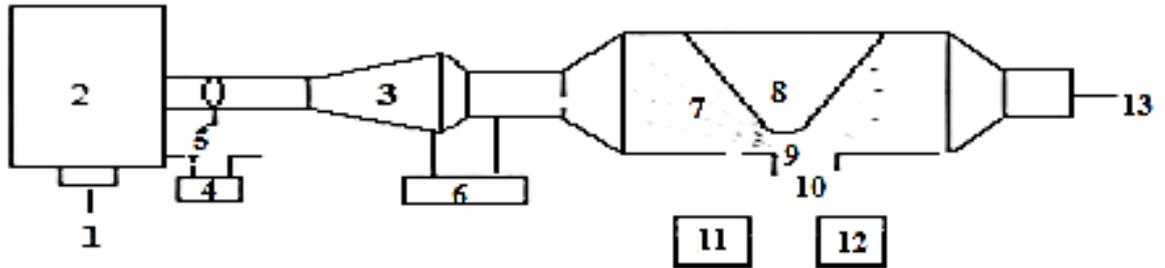


Рисунок 1 – Основные элементы экспериментальной установки:
 1 – подача воздуха на входе; 2– коллектор; 3 – труба Вентури для контроля расхода воздуха; 4 – генератор дисперсного потока; 5 – шибер регулирования расхода воздуха; 6 – измеритель дифференциального давления «TESTO»; 7- модель канала газохода; 8 – клинообразная вставки; 9 – участок сепарации частиц; 10 – пылевая камера; 11 – источник лазерного излучения; 12 – высокоскоростная видеокамера; 13 – вытяжная линия (модель дымоcоса).

Целью исследования является экспериментальное подтверждение обнаруженных при математическом моделировании важных изменений в аэродинамической структуре дисперсного потока, которые могут быть использованы для повышения эффективности золоулавливающего устройства.

Физическая модель представляет собой участок верхнего газохода котлоагрегата П-57Р с введенными в нее элементами ЗУУ в масштабе М1:22,5 (рис. 2).



Рисунок 2 – Общий вид модели на экспериментальном стенде

В связи с применением в экспериментах оптического метода модель была изготовлена из прозрачного листового стекла толщиной 5 мм. В верхней стенке модели канала 10 (рис. 1,2) через прямоугольный проем вставлена клинообразная вставка с закругленной вершиной. Изменения в конструктивных параметрах при проведении экспериментов вносились посредством замены одних элементов установки другими.

В экспериментальном исследовании использовался полидисперсный поток, равномерно запыленный твердыми частицами (трассерами), физические характеристики которых соответствовали условию приближенного гидродинамического подобия данной модели натурному объекту. Для надежной регистрации частиц в потоке оптическими средствами, они должны обладать достаточной отражательной способностью, а их размер, плотность, и объемная концентрация подбираются таким образом, чтобы дисперсность потока не оказывала влияния на его измеряемые характеристики. В связи с этим для запыления потока на модели выбран порошок диоксида титана (TiO_2) с дисперсным распределением частиц в пределах 2-12 мкм и коэффициентом отражательной способности $K > 0,9$.

Запыление несущего потока частицами производилось с помощью генератора запыленного потока посредством барботажного порошка TiO_2 струей сжатого воздуха регулируемой интенсивности.

Методика эксперимента

Для экспериментального исследования структуры потока использован бесконтактный метод PIV (Particle Image Velocimetry) [10], реализованный в измерительной системе «ПОЛИС» (Россия) [11]. Метод обеспечивает измерение аэродинамических осредненных и турбулентных характеристик потоков на основе астатистического анализа поведения взвешенных в потоке частиц в рассматриваемой плоскости сечения потока. Областью измерений в потоке является плоскость, «вырезаемая» импульсным источником света – «лазерным ножом», как показано на рисунке 3. В качестве источника излучения использован импульсный лазер Nd YAG с длительностью импульса в пределах 5-10 нсек при высокой энергии в импульсе.

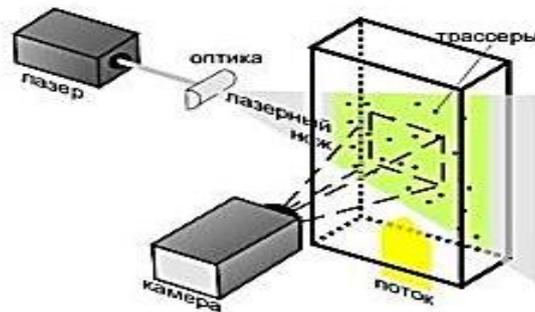
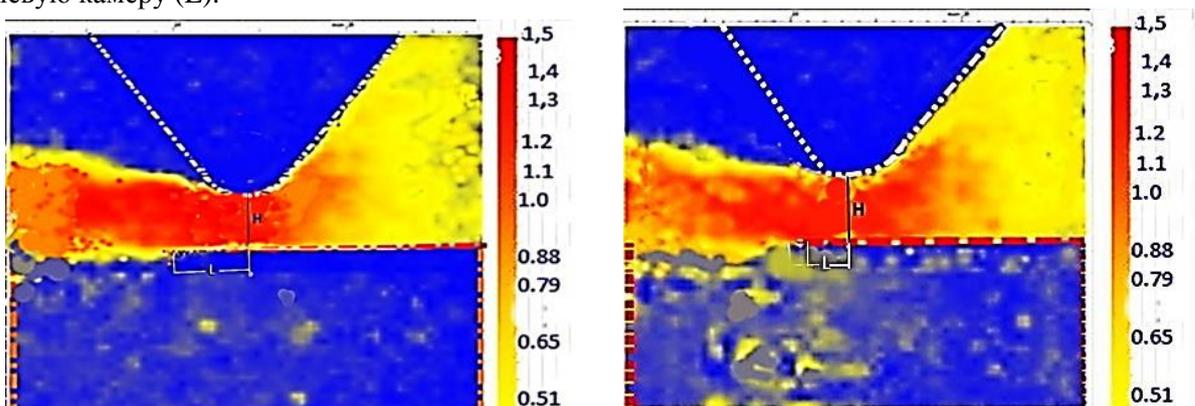


Рис. 3 – Общая схема применения метода PIV «ПОЛИС»

Взвешенные в дисперсном потоке частицы за период нахождения их в пределах рассматриваемого сечения освещаются двумя последовательными импульсными вспышками лазерного источника света. Пространственные местоположения каждой из таких частиц регистрируются высокоскоростными цифровыми видеокамерами. Полученная первичная информация сохраняется в цифровой форме на электронном носителе с возможностью последующей автономной обработки накопленных первичных данных с использованием специального программного обеспечения. Статистическая обработка данных позволяет рассчитать смещение каждой из частиц в исследуемом сечении за интервал времени между вспышками лазерного источника света и построить поля мгновенных либо статистически осредненных по времени скоростей потока.

Результаты

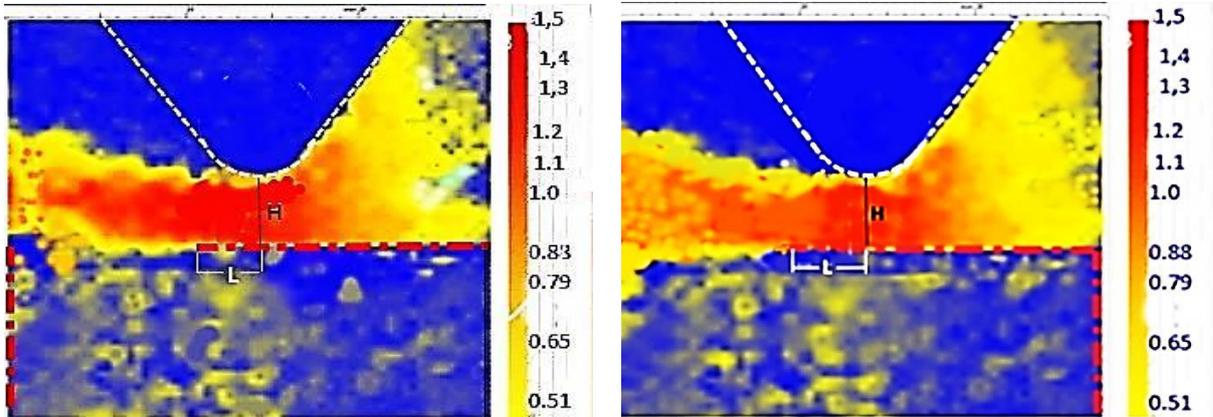
На рисунках 4(а,б)-7(а,б) представлены результаты по исследованию аэродинамической структуры дисперсного потока при различных конструктивно-режимных параметрах и их влияние на структуру течения на участке сепарации опытно-лабораторной модели исследуемого ЗУУ. К изменяемым параметрам относились средняя скорость двухфазного потока на участке сепарации канала ($W_{sep.}$), высота зауженного участка (H), расстояние от осевой линии вставки до зазора в пылевую камеру (L).



(a)

(b)

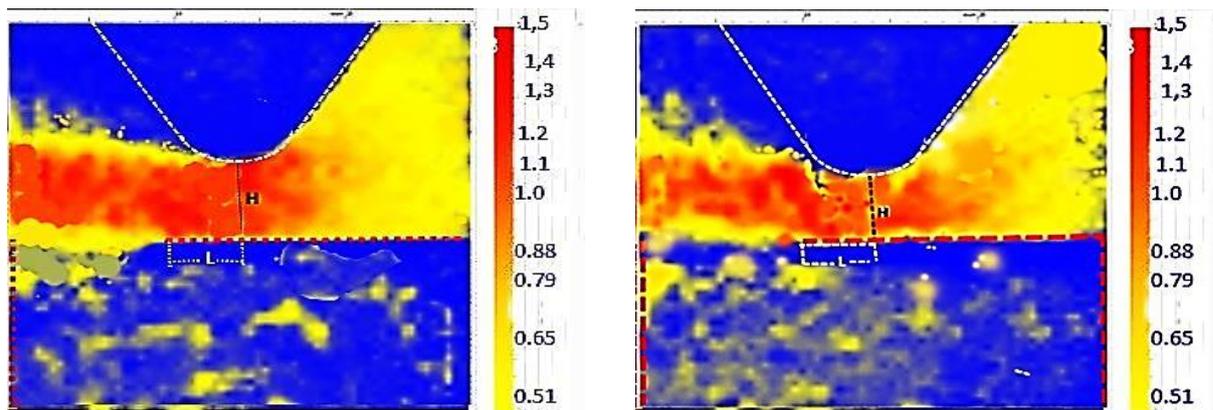
Рисунок 4(a,b)– структура дисперсного потока на участке сепарациии модели ЗУУ: (a)- $W_{sep.} = 1,50$ м/с; $H = 0,020$ м; $L = 0,025$ м; (b)- $W_{sep.} = 1,42$ м/с; $H = 0,025$ м; $L = 0,012$ м



(a)

(b)

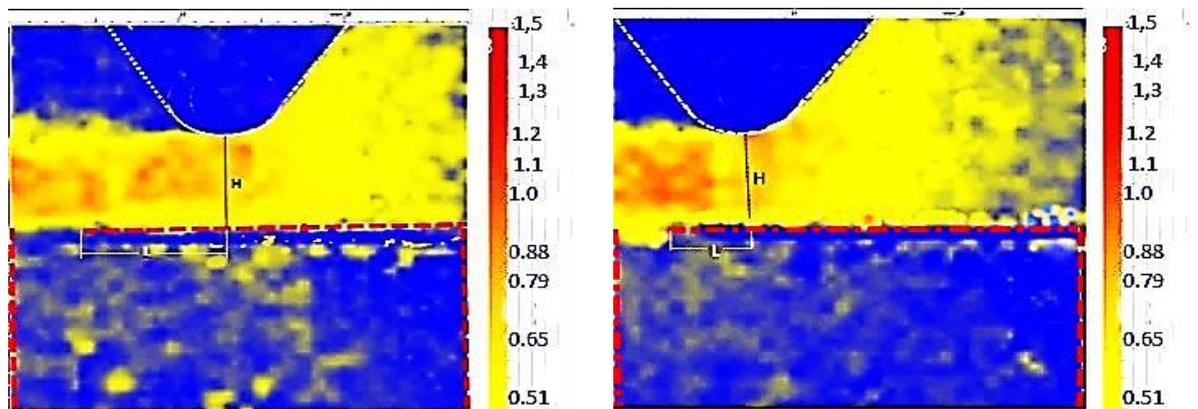
Рисунок- 5(a,b) - Структура дисперсного потока на участке сепарациии модели ЗУУ: (a)- $W_{sep.} = 1,42$ м/с; $H = 0,025$ м; $L = 0,018$ м; (b) - $W_{sep.} = 1,5$ м/с; $H = 0,031$ м; $L = 0,025$ м



(a)

(b)

Рисунок 6(a,b)– Структура дисперсного потока на участке сепарациии модели ЗУУ: (a)- $W_{sep.} = 1,35$ м/с; $H = 0,031$ м; $L = 0,025$ м; (b)- $W_{sep.} = 1,42$ м/с; $H = 0,025$ м; $L = 0,025$ м.



(a)

(b)

Рисунок 7(a,b) – Структура дисперсного потока на участке сепарации модели ЗУУ: (a)- $W_{sep.} = 1,0 \text{ м/с}$; $H = 0,031 \text{ м}$; $L = 0,042 \text{ м}$; (b)- $W_{sep.} = 0,82 \text{ м/с}$; $H = 0,031 \text{ м}$; $L = 0,025 \text{ м}$

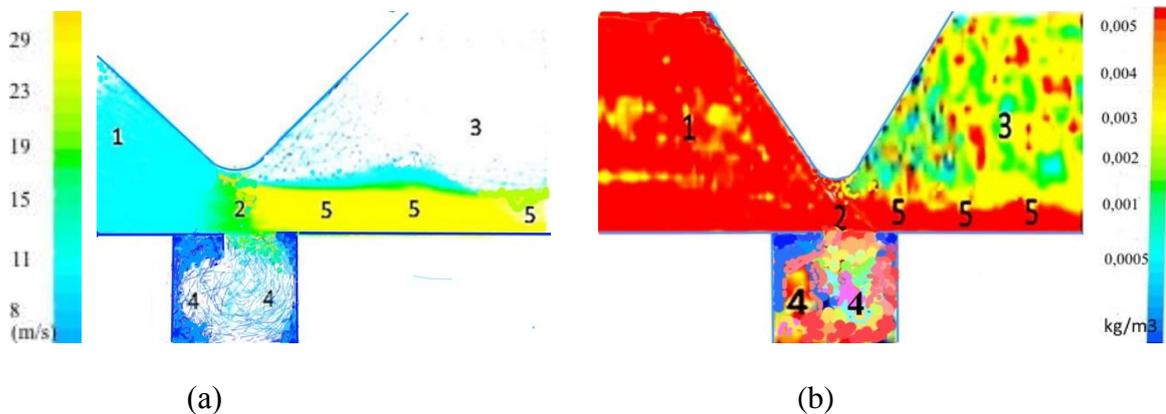


Рисунок 8 (a,b) – Распределения векторов скорости (a) и концентрации частиц (b) в зоне сепарации исследуемого ЗУУ по результатам математического моделирования: 1 – канал перед зауженным участком; 2 – участок сепарации ЗУУ; 3 – верхняя область канала после зауженного участка; 4 – пылевая камера; 5 – распределение данных параметров дисперсного потока у основания канала после зауженного участка.

Анализ результатов

При анализе полученных результатов обращает на себя внимание общий для всех режимов характер течения на участке сепарации модели в виде полуограниченного струйного течения нижним основанием канала с содержащимся в нем сквозным зазором в пылевую камеру. С другой стороны, выше свободного пограничного слоя до самой верхней стенки канала средняя скорость потока близка нулевому значению. Данная картина течения хорошо согласуется с результатами математического моделирования. По приведенным выше результатам эксперимента (рис. 4-7) и математического моделирования (Рис.8) дисперсная фаза потока после зауженного участка канала, в основном, продолжает перемещаться вблизи основания канала на значительном удалении от зауженного участка. В остальном пространстве после зауженного участка канала между верхней границей струйного течения и верхней стенкой канала имеет место циркуляционное течение (Рис.8а, область 3), которое “прижимает” полуограниченную струю к основанию канала и тем самым концентрирует дисперсную фазу у основания канала. Поэтому в области циркуляционного течения (Рис.8а, обл.3) скорость потока в среднем близка нулевому значению, что подтверждается приведенными результатами эксперимента на модели (Рис.4-7), где в данной области отмечены минимальные средние значения скорости дисперсного потока.

Результаты данного эксперимента показывают также, что основные параметры модели ЗУУ оказывают влияние на аэродинамическую структуру потока. Так, влияние скорости потока ($W_{sep.}$) на зауженном участке (участке сепарации ЗУУ) можно видеть при сопоставлении результатов, полученных при постоянных значениях параметров H и L и переменных значениях параметра $W_{sep.}$ (рис.5b, 6а и 7b). Из данных результатов видно, что с увеличением скорости $W_{sep.}$ поток приобретает более выраженный турбулентный характер с возрастанием толщины турбулентного пограничного слоя. Но при этом отмеченные выше особенности структуры потока сохраняются, что также согласуется с результатами математического моделирования.

Влияние высоты зауженного участка (при постоянных значениях параметров $W_{sep.}$ и L) видно по сопоставлению результатов (рис.4а и 5b), из которых видно, что при большем значении параметра H поток над зазором приобретает более выраженный турбулентный характер, что интенсифицирует перенос двухфазной среды в пылевую камеру.

Влияние параметра L иллюстрируется результатами, представленными на рисунках 4(б), 5(а) и 6(б) при H и $W_{sep.} = \text{const}$, из которых видно, что данный параметр оказывает достаточно сильное влияние на структуру потока в интенсификации струйного течения и переноса дисперсной фазы потока в пылевую камеру. Однако очевидно, что при этом возрастает и обратный вынос частиц из камеры в канал газохода, что также подтверждают результаты математического моделирования относительно недостаточной эффективности золоулавливания исследуемым ЗУУ.

Выводы

По результатам данного экспериментального исследования можно сделать выводы:

1. Результаты экспериментов, полученных на физической модели, согласуются с результатами математического моделирования исследуемого ЗУУ в полномасштабном варианте и дополняют их.

2. Установленная в обоих исследованиях локализация дисперсной фазы потока у основания канала после зауженного участка указывает на возможность повышения эффективности улавливания частиц с включением, например, таких дополнительных средств, как направляющий козырек, размещенный над зазором в пылевую камеру за прелелами зауженного участка. При таком его расположении это окажет существенное влияние на общее гидравлическое сопротивление канала газохода.

3. Одной из задач дальнейшего экспериментального исследования является также поиск решения, обеспечивающего снижение обратного выноса уловленных частиц из пылевой камеры.

Работа выполнена по гранту Комитета науки МОН РК 5088/GF4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резняков А.Б., Басина И.П., Бухман С.В., Вдовенко М.И., Устименко Б.П. / Горение натурального твердого топлива // Наука Каз ССР, Алма-Ата, 1968, – 410 с.
2. Назмеев Ю.Г. / Системы золошлакоудаления // ТЭС. – М.: МЭИ, 2002, 572 с.
3. Пузырев Е.М., Кисляк С.М., Ильин Ю.М. / Уловитель частиц // Патент РФ № 2071008, МКИ: P22B3/7/10/1996.
4. Резник В.А., Прокофичев Н.Н., Александрович Е.И. / Поворотный пылегазопровод // Патент РФ № 2059932, МКИ: P23L5/00/1996.
5. Сухинин В.И., Распутин О.В., Обухов И.В. / Жалюзийный сепаратор // Патент РФ № 2190158, МКИ: P23B02/2002.
6. Шишкин А. А., Шишкин А. А. / Золоулавливающее устройство Шишкина // Патент РК № 27945, F23J 15/00, опубл. 25.12.2013.
7. A. A. Shishkin, A. A. Shishkin, N. N. Dushkina // Research of the removal of fly ash particles from industrial boiler flue gases // International Journal of Energy for a Clean Environment 20(4): 273–289 (2019).
8. Кононюк А.Е. // Обобщенная теория моделирования. Величины – количественные характеристики моделей / Книга 3. Часть 2. Научно-практическое издание. – Киев: Освіта України, 2012. - 476 с.
9. Василевский М. В. // Обеспыливание газов инерционными аппаратами. / Изд-во Томск политехнического ун-та, Томск, 2008, 386 с.
10. Метод Particle Image Velocimetry: основы систем цифровой трассерной визуализации. [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: http://cameraiq.ru/faq/flow_diagnostics/PIV_method/PIV_basic.
11. www.polis-instrumentts.ru > public > POLIS PIV pdf. [Электронный ресурс].

REFERENCES

- [1] Rezniakov A.B., Basina I.P., Buchman S.V., Vovenko M.I., Ustimenko B.P./Burning of natural solid fuel//Science Kaz SSR, Alma-Ata, 1968, - 410p.
- [2] Nazmeyer Yu. G./Ash and slag removal systems//TES. - M.: MEI, 2002, 572c.
- [3] Bubrev E.M., Kislyak S.M., Ilin Yu.M./Particle catcher//Russian Patent No. 2071008, MКИ: P22B37/10/1996.
- [4] Reznik V.A., Prokofichev N.N., Alexandrovitch E.I./Turning dust gas pipeline//Patent of the Russian Federation № 2059932, MКИ: P23L5/00/1996.
- [5] Sukhinin V.I., Rasputin O.V., Obukhov I.V./Louver Separator//Russian Patent No. 2190158, MКИ: P23B02/2002.

- [6] Shishkin A. A., Shishkin A. A. / Ash-collecting device of Shishkin//RK No. 27945 Patent, F23J 15/00, опубл. 25.12.2013.
- [7] A. A. Shishkin, A. A. Shishkin, N. N. Dushkina //Research of the removal of fly ash particles from industrial boiler flue gases// International Journal of Energy for a Clean Environment 20(4): 273–289 (2019).
- [8] Kononyuk A.E. Generalized theory of modeling. Quantities are the quantitative characteristics of models. Book 3. Part 2. Scientific and practical edition. - Kiev: Oswyta Ukraine, 2012. 476 p.
- [9] Vasilevsky M. V./Gas supply by inertial devices.//Tomsk Polytechnic, Tomsk, 2008, 386s.
- [10] The Participant Image Velocity method is the basis of digital tracer rendering systems. [Electronic resource]. - 2011.-Access mode: http://cameraiq.ru/faq/flow_diagnostics/PIV_method/PIV_basic.
- [11] www.polis-instrumentts.ru > public > POLIS PIV pdf. [Electronic resource].

ЖАҢА КҮЛҰСТАҒЫШ ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ СЕПАРАЦИЯ БӨЛІГІ АЙМАҒЫНДАҒЫ АҒЫННЫҢ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

А. А.Шишкин^{1,2,*}, А. А.Шишкин^{1,2}, Н.Н.Душкина^{1,2}

Ш. Ч. Шокин атындағы Энергетика ҚазҒЗИ" ЖШС", Алматы қ., Қазақстан
«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: shishkin3777@mail.ru

Аңдатпа. Бөлшектердің бөліну аймағындағы дисперсиялық ағынның аэродинамикалық құрылымына жаңа күл ұстағыш құрылғының құрылымдық-режимдік өлшемдері әсерінің физикалық моделіне зерттеудің тәжірибелік нәтижелері келтірілген. Бұдан бұрын математикалық модельдеу әдісімен жүргізілген зерттеу осы аймақта және шаң камерасындағы ағынның аэродинамикалық құрылымының ерекшеліктерін анықтады, олар қазір тәжірибелік тұрғыдан расталды және осы күл ұстағыш құрылғы арқылы күл ұстаудың тиімділігін арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: қазандық агрегаты, оттық газдар, түтін күлі, күл бөлшектерін ұстау тиімділігі, жылу алмасу тиімділігін арттыру, абразивтік әсерді төмендету.

EXPERIMENTAL STUDY OF AERODYNAMIC FLOW STRUCTURE IN PARTICLE SEPARATION ZONE OF THE NEW ASH-COLLECTING DEVICE

A. A. Shishkin^{1,2,*}, A. A. Shishkin^{1,2}, N.N. Dushkina^{1,2}

¹LLP "Kazakh Research Institute of Energy named after Akademician. Sh.Ch.Chokin",
Almaty, Kazakhstan

² Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev", Almaty, Kazakhstan
e-mail: shishkin3777@mail.ru

Annotation. The experimental results of a study on a physical model of the influence of the structural-operational parameters of a new ash collecting device on the aerodynamic structure of a dispersed stream in a particle separation zone are given in the article. A previous study by mathematical modeling revealed the peculiarities of the aerodynamic structure of the flow in this zone and the dust chamber. These peculiarities are confirmed experimentally and can be used to increase the efficiency of ash collection by this ash collecting device.

Keywords: boiler unit, furnace gases, ablation ashes, Ash particle capture efficiency, increase in efficiency of heat exchange, decrease in abrasive influence.



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.182.12

ЖЭС ГИДРОКҮЛҚОЖШЫҒАРУ ЖҮЙЕСІНДЕ ӨТЕТІН ПРОЦЕСТЕРДІ ЗЕРТТЕУ

К.С. Идрисова, А.А. Туманова*, Г.А. Колдасова

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: tumanova.aytbala@mail.ru

Аннотация. Бұл мақалада көмірді жаққаннан кейін ЖЭС-тің ылғал күл ұстау және гидрокүл шығару жүйелерінде өтетін физика-химикалық процестер зерттелген. Күлқожды материал пульпасына талдау жүргізілді. Күлдің түзілуі, тасымалдануы және пульпаның сұйық бөлігін қайта пайдалану кезеңдерінде пульпа қышқылдығына күл компоненттерінің әсері анықталды. Қышқылды коррозиядан қорғау мақсатында пульпаны өзін-өзі бейтараптау және бейтараптау бойынша ұсыныстар жасалды. «Қаражыра» кен орны көмірінің 1 т жаққанда түзілетін күлдің, күкірт қышқылының пайыздық және салмақтық көлемдері және бейтараптағыш реагенттер мөлшері есептелді. Пульпаның қышқылды қасиеттерін төмендететін технология ұсынылды.

Түйін сөздер: көмір, күл, қож, пульпа, ГКШ жүйесі, скруббер, сілтілік реагент.

Сулы күлұстау және гидрокүлшығару (ГКШ) жүйелерінде өтетін физика-химиялық процестер әр түрлі және айтарлықтай күрделі болады, сондықтан бұл жұмыста жабдықтың коррозиясына әкелетін және сулы күлұстағыштарды сенімді пайдалануына әсер ететін агрессивті орталарды тудыратындары ғана қарастырылған.

Қаражыра көмірін жаққаннан кейін алынған күлқожды материалдың пульпасына жасалған химиялық талдау қышқылдықтың келесі мәндерін көрсетті: Вентури құбырынан кейінгі скруббердегі күл пульпасының қышқылды қасиеті бар ($pH=4,49$). Скруббердің шығысы мен пульпа құбырының басында күл пульпасының pH деңгейі 5,51 мәніне дейін артады. Бұл пульпадағы күлдің сілтілік және бейтарап компоненттері, яғни кальций мен сілтілік металдар оксидтерінің біртіндеп еруіне байланысты. Ары қарай күл пульпасы күл үйіндісіне пульпа құбыры арқылы тасымалданады, бұл жерде оны бірнеше тәулік ішінде ағарту жүзеге асырылып, нәтижесінде pH деңгейінің 7,87 мәніне дейін артады.

Ағартылған судың pH деңгейінің артуы суда күлдің еріген сілтілік компоненттері (негізгісі - CaO) мен түтін газдардан сіңген күкірт оксидтерінің қатынасына тәуелді, яғни күлдің құрамындағы сілтілік компоненттермен қатар, отынның күлділігі мен күкірттілігі аталған процесте маңызды рөл атқарады [1]. Күлділік артқан сайын, күлдің құрамындағы амфотерлі оксидтер мөлшері де артады. Сонымен қатар, айналмалы судың pH деңгейіне карбонат-иондардың (CO_3^{2-}) концентрациясы өте қатты әсер етеді.

Кальций карбонаты бойынша ГКШ жүйелерінде судың қанығуын анықтайтын факторларды бағалау үшін, карбонат иондары мен кальций иондарының түзілу көздерін қарастырған дұрыс. Гидрокүлшығару жүйелерінде Ca^{2+} иондарының түзілу көзі – күл мен қожды шаю үшін қолданылатын табиғи су. Табиғи суда Ca^{2+} иондарының бар болуы кальцийлі кермектілікпен анықталады және 2-5 мг-экв/л құрайды (біздің талдау мен ЖЭС химиялық зертханасы талдауының нәтижелері бойынша).

ГКШ жүйелерінің айналмалы суында карбонат-иондардың (CO_3^{2-}) пайда болу көзі – атмосфералық ауаның құрамындағы көміртегі диоксиді мен судың әрекеттесу реакциясы және түзілетін көмір қышқылының иондарға диссоциациялануы, сонымен қатар табиғи судың

құрамындағы бикарбонат-иондар мен ұшқыш күлдің сілтілік компоненттерінің еруі арқылы түзілетін гидроксид-иондардың әрекеттесу реакциясы.

1.1 кестеде Қаражыра мен Майкөбе кен орындары көмірлерінен шығатын күлдің химиялық құрамы көрсетілген.

1.1 кесте – «Қаражыра» мен «Майкөбе» кен орындары көмірлерінен шығатын күлдің химиялық құрамы мен шартты гидравликалық модулі

Көмір түрі	Сульфатсыз массаға келетін күлдің химиялық құрамы, %					
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+SiO ₂ +Re ₂ O ₃	Шартты гидрав-қ модуль
«Қаражыра» көмірі	3,36	53,22	23,52	7,21	87,31	0,04
«Майкөбе» көмірі	7,21	46,73	19,04	7,60	80,58	0,09

Кестеден көрініп тұрғандай, күлдің негізгі компоненттері – SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ және CaO, олардың жиынтық құрамы шамамен 95%-ды құрайды. Сондықтан күлдер бір-бірінен осы оксидтердің қатынастары арқылы, яғни шартты гидравликалық модуль (m¹) арқылы ажыратылады, бұл мән 0,01-ден 0,8-ге дейінгі өте кең шекте өзгереді. Қаражыра көмірін жаққандағы ұшқыш күл кішігірім тұтқыр қасиетке ие.

Жоғарыда аталған күлдің компоненттері, негізінен, шыны тәріздес массаны құрап, бір-бірімен байланысқан. Күлдің құрамындағы кальцийдің бос оксиді CaO ГКШ жүйелерінде минералды шөгінділерді қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.

Әр түрлі отындар ұшқыш күлінің құрамындағы кальцийдің бос оксидінің пайыздық көрсеткішін жартылай эмпирикалық формула бойынша шамамен анықтауға болады және ол сол күлдің құрамындағы жалпы CaO-дан аз болады [2]:

$$CaO_{\text{бос}} = 0,0074 \cdot CaO_{\text{жалпы}}^2,$$

мұндағы CaO_{жалпы} – көмір күлінің құрамындағы CaO жалпы мөлшері.

Біздің жағдайда Қаражыра күлі үшін: $CaO_{\text{бос}} = 0,0074 \times 1,51^2 = 0,0169$. Бұл мән кальций оксидтерінің аз мөлшері мен сәйкесінше күл негізінің төменділігіне нұсқау болады.

Есептеулер көрсеткендей, 0 – 10 мг-экв/л аралығындағы айналмалы судың жалпы сілтілік деңгейі үшін және түтін газдарда SO₂ әр түрлі қысымдары үшін, қатты отынның барлық түрін жаққан кезде скруббердің төменгі цилиндрлік бөлігіндегі пульпаның рН деңгейі 1,8 – 4,6 шегінде болады. Есептеулер кезінде мына мәндер алынды: отынды жаққан кезде SO₃-ке айналатын күкірт көлемі 1%-ды құрады; сулы күл ұстағышта SO₃-ті ұстау тиімділігі 96%; пульпаның меншікті шығыны 0,12 л/м³ (қалыпты шарттарда).

Электр стансаның түтін газдарын тазарту кезінде рН мәніне SO₂ мен қатар SO₃ пен CO₂ -де әсер етеді, сонымен қатар суармалы су мен ұсталған күл құрамында болатын сілтілік қосылыстар да әсер етеді. Конустық бөлік пен скруббердің гидроқақпағындағы пульпаның рН деңгейі ұсталған күлдің құрамындағы сілтілік компоненттерінің, әсіресе CaO_{бос} (бос кальций оксидінің), еруі есебінен бірталай артуы керек.

Газдар мен пульпада SO₃ концентрациясын тәжірибелік түрде анықтау [3]-те сипатталған йодометриялық әдіс арқылы жүзеге асырылды. Тасымалданатын рН-метр көмегімен жүргізілген скруббердің гидроқақпақтарында пульпаның рН деңгейін өлшеу, көмірді жаққан кезде скруббер шығысындағы пульпаның рН деңгейі 2,5 – 4,6 мәндер диапазонында болатынын көрсетті.

Түтін газдардың құрамындағы CO₂ көміртегі диоксиді мына шартпен анықталады: заманауи пеш қазандарында көміртегі жанармайы толығымен жанып кетеді. CO₂ парциалды қысымының 1200 Па орташа мәні кезінде және 50°C температурада CO₂-нің суда еруі [4] кестедегі мәндерге сәйкес шамамен 4,5 мг-экв/л-ді құрайды. Бу өнімділігі 75 т/сағ-тан артық қатты отында жұмыс істейтін пештердің қалыпты жұмысы кезінде түтін газдардың құрамындағы көміртегі монооксиді СО мөлшері іс жүзінде нөлге тең, қалыпты жағдайда СО концентрациясы 1 – 1,5 г/м³ болатын көлденең

циклондық пештер үшін бұл шарт орындалмайды. Пульпада көміртегі оксидінің еруін елемеуге болады және аталған концентрация кезінде ол шамамен 0,02 мг/л-ді құрайды [4].

Қатты отынды жаққан кезде түтін газдарда азот оксидінің концентрациясы қайта есептегенде азоттың қос тотығы үшін (NO_2) қалыпты жағдайда орташа 0,6 – 0,8 г/м³ құрайды. NO_2 , SO_3 сияқтылар сулы күл ұстағыштарда жақсы жұтылады деп болжаған жағдайда, яғни шамамен 80% болса, оның пульпадағы концентрациясы 1,0 – 1,5 ммоль/л-ді құрайды, демек, осының есебінен пульпаның рН деңгейі бірталай төмендейді. «Зерттеу мен талдаудың физика-химиялық орталығында», «Биосфера экологиясы» зертханасында «Жылу» ионды хроматографында жүргізілген талдау нәтижелері көрсеткендей, қазаннан кейінгі пульпадағы NO_3^- анионының концентрациясы 227,6 мг/л-ді құрайды. Нитрат-ионның бұл мөлшері пульпаның рН деңгейінің төмендеуіне алып келетін азот қышқылының пайда болуын растайды.

Ұсталған күлдің құрамындағы бос кальций оксидінің скрубберде басталған пульпаның сұйық фазасында еруі, пульпа күл үйіндісіне және керісінше тасымалданатын пульпа құбыры мен каналдарында жалғасады. Бұндай тасымалдау кезінде күл мен пульпаның сұйық фазасының байланыс уақыты – шамамен бір сағат, күл үйіндісінде – шамамен жүз сағат, яғни ол айтарлықтай үлкен, сондықтан ГКШ жүйесінің күл үйіндісінде бос кальций оксидінің айтарлықтай үлкен мөлшері ериді.

«Зерттеу мен талдаудың физика-химиялық орталығында», «Биосфера экологиясы» зертханасында АА-6000 атомдық-абсорбциялық спектрофотометрінде пульпаның құрамындағы катиондарға жүргізілген талдау көрсеткендей, кальций иондарының мөлшері 75,64 мкг/л, магний иондарының мөлшері 23,33 мкг/л мәніне жетеді (1.2 кесте).

1.2 кесте – Скрубберден шығатын пульпаның рН мәндері және күл үйіндісінде ағартылған судың кейбір сапа көрсеткіштері

№	Талданатын су	рН	Судың сапа көрсеткіштері							
			NO_3^- , мг/л	Cl^- , мг/л	SO_4^{2-} , мг/л	Fe^{3+} , мкг/л	Ca^{2+} , мкг/л	Mg^{2+} , мкг/л	K^+ , мкг/л	Na^+ , мкг/л
1	Скрубберден шыққан пульпа	4,49-4,52	27,2	90,6	4706,6	336,6	75,6	23,3	10,0	44,7
2	Ағартылған су	6,68-6,78	7,0	48,8	2628,3	106,9	48,4	24,4	10,7	50,2

Жүйеде циркуляцияланатын айналмалы су бірқатар сапалық өзгерістерге ұшырайды: күл үйіндісінде ағартылған судың рН деңгейі, скрубберден шығатын пульпаның рН деңгейінен әрқашан үлкен болады. Бұл көрсеткіш негізінен суда еріген сілтілік компоненттер мен SO_2 және SO_3 күкірт оксидтері мен CO_2 көміртегі диоксидінің қатынастарына тәуелді, сонымен қатар атмосферадағы CO_2 -ге де байланысты. Кальцийдің бос оксиді [5] – күлдің негізгі сілтілік компоненті болғандықтан, ағартылған судың рН деңгейі, жағылатын отынның келтірілген күлділігі A^{np} және күкірттілігі S^{np} күлдегі CaO жалпы мөлшеріне тәуелді болуы керек. Біздің жағдайда «Қаражыра» мен «Майкөбе» кен орындары көмірлерінің құрамында CaO төмен болған жағдайда, яғни 3,36% және 7,21%, сәйкесінше 6,8-ден аспайтын рН кезінде, су CaCO_3 -пен қанықпайды.

Осылайша, ГКШ айналмалы жүйесінде болатын үрдістер, белгілі бір шарттарда кальций тұздары арқылы циркуляцияланатын айналмалы судың қанығуына алып келеді. Бұл ретте айналмалы судың CaSO_4 -пен қанығуы мен гипс шөгінділерінің пайда болуы кез келген отынды жағу кезінде байқалады. CaCO_3 шөгінділері күлдің құрамындағы CaO мөлшері көп болатын отын түрлерінде ғана пайда болады. Біздің жағдайда, күлдің құрамындағы CaO мөлшері аз болғандықтан, ГКШ жүйесінде CaCO_3 шөгінділері жоқ деп болжауға болады.

Судың кальций карбонатымен қанығу дәрежесін бағалау, талдау арқылы табылған ерітіндідегі бос көмір қышқылының концентрациясының көрсетілген шарттарда мына формуламен есептелген қажетті тепе-теңдік мөлшерімен салыстыру арқылы анықталады [6]:

$$\lg(\text{CO}_2) = pK_1 - pK_2 + p(\text{PP}_{\text{CaCO}_3}) + 2 \lg(\text{HCO}_3^-) + \lg(\text{Ca}^{2+}) - 3\sqrt{\mu} - 5,96, \quad (1.1)$$

«Биосфера экологиясы» зертханасында пульпаның құрамына жүргізілген талдауға сәйкес,

ерітіндінің иондық күші аниондар мен катиондар концентрациясы бойынша есептелген болатын:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_t \cdot z_t^2 = \frac{1}{2} (0,0047 + 0,0582 + 0,38 \cdot 2^2 + 0,0194 \cdot 3^2 + 0,0121 \cdot 2^2 + 0,0027 + 0,0218) = 0,93.$$

Есептелген және кестелік мәліметтерді, пульпаның сілтілігін (1.1) теңдеуіне қойғаннан кейін, келесі өрнекті алдық:

$$\lg(CO_2) = 6,35 - 10,32 + 8,32 + 2 \lg(5,58) + \lg(0,048) - 3\sqrt{0,93} - 5,96 = -2,34,$$

мұнда CO_2 концентрациясы 0,0046 мг/л-ді құрады.

Тәжірибе жүзінде $CaCO_3$ ерітіндісінің қанығу дәрежесін анықтау басқа жолмен жүргізіледі [7]. Бұл шаманы былай есептейді:

$$pH_S = pK_2 - p(PP_{CaCO_3}) - \lg(Ca^{2+}) - \lg\Omega_0 + 2,5\mu + 7,6, \quad (1.2)$$

мұндағы pH_S – кальций карбонатымен қаныққан судың рН мәні;

Ω_0 – судың жалпы сілтілігі, мг-экв/л.

$$pH_S = 10,32 - 8,32 - \lg(0,048) - \lg(5,58) + 2,5 \cdot 0,93 + 7,6 = 9,857.$$

Егер судың өлшенген рН мәні pH_S -тен жоғары болса, бұл су кальций карбонатымен қаныққан болып саналады. Судың $CaCO_3$ -пен қанығу дәрежесін сипаттайтын рН – pH_S айырмасы Ланжелье индексі деп аталады.

Біздің жағдайда Ланжелье индексінің мәні аз, бұл кальций карбонатымен қанығу байқалмайтынын растайды. Бұл іс жүзінде сулы күл ұстағышта шөгінділер болмайтындығымен расталады.

Күл ұстағыштардың суаратын құрылғыларында гипс шөгінділерінің пайда болуы тек ерітінді қаныққан жағдайда ғана байқалады. Температурасы 0-ден 30°C-қа дейінгі $CaSO_4$ моноерітіндісі үшін қанықпаған $CaSO_4$ ерітіндісінің шарты келесідей жазылады:

$$(Ca^{2+})_m \cdot (SO_4^{2-})_m < 670 \div 950,$$

мұндағы $(Ca^{2+})_m \cdot (SO_4^{2-})_m$ – химиялық талдаумен анықталатын ерітіндідегі Ca^{2+} және SO_4^{2-} толық концентрациялары, мг-экв/л;

670 және 950 – 0 және 30°C температурада $CaSO_4$ моноерітіндісінің қанығуына сәйкес, осы концентрациялардың көбейтіндісі, осы заттың еруі негізінде анықталған.

Ең алдымен Дэвис теңдеуі бойынша Ca^{2+} және SO_4^{2-} иондарының белсенділік коэффициенттерін есептедік:

$$\lg f = z^2 [0,2 \cdot \mu - \frac{0,51\sqrt{\mu}}{1 + 1,5\sqrt{\mu}}] = 2^2 \cdot 0,93 - \frac{0,51\sqrt{0,93}}{1 + 1,5\sqrt{0,93}} = -0,072; f = 0,85. \quad (1.3)$$

Содан кейін тәжірибе жүзінде анықталған кальций иондары мен сульфат-иондар концентрацияларының мәндерін қойып, келесі есептеулерді жүргіздік:

$$0,038 \cdot 0,0121 < \frac{2,4 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 0,85 \cdot 0,85}; 4,5 \cdot 10^{-4} < 8,3 \cdot 10^{-4}.$$

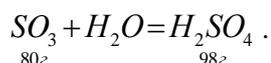
Алынған деректер, сулы күл ұстағыштың қабырғаларындағы гипстің кристалдануы өтпейтінін растайды, себебі сулы күл ұстағышта қанығу болмайды. Бұл өз кезегінде қышқыл пульпаны әк немесе сілті арқылы бейтараптандыруға мүмкіндік береді.

Пульпа құбырының бастапқы бөлігінің қышқылды коррозиялануының алдын алу үшін, пульпа белгілі бір уақытта өздігінен бейтараптану үшін арнайы бейтараптандырғыш күбіні орнатуды қарастыруға болады. Пульпаның бейтараптануы, сондай-ақ әк пен сілті сияқты сілтілік реагенттерді қосу есебінен жүзеге асырылады. Қаражыра кен орны көмірін жағу кезінде пайда болатын күкірт қышқылын бейтараптандыру үшін оның мөлшерін есептедік.

Талдау нәтижелері бойынша келесі мәліметтер қабылданды: Қаражыра көмірінің

1 тоннасын жағу кезінде 23,6 %, яғни 236 кг күл пайда болады, оның құрамында 3,7 % күкіртті газ бар, яғни 8,732 кг SO₃.

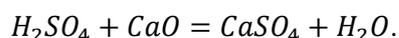
Күкірт қышқылы түзілетін реакция бойынша, сәйкесінше молярлық масса:



Онда 80 кг күкіртті газдан 98 кг күкірт қышқылы, ал 8,732 кг күкіртті газдан 10,6967 кг күкірт қышқылы түзіледі. Осылайша, 1 тонна Қаражыра көмірін жағу кезінде скрубберде 10,6967 кг күкірт қышқылы пайда болады. Күкіртті газды ұстау 96 % құрағанда, пайда болған күкірт қышқылының мөлшері 10,2688 кг тең болады.

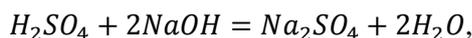
Есептеулерден көрініп тұрғандай, көмірді жағу кезінде айтарлықтай үлкен мөлшерде күкірт қышқылы түзіледі, ол өз кезегінде пульпада қышқылды ортаның пайда болуына үлес қосады.

Пульпаның қышқылды қасиеттерін азайту үшін, яғни қондырғылар мен пульпа құбырының коррозия процесін тежеу үшін, пульпаны NaOH ерітіндісімен немесе әкпен бейтараптандыруға болады. Қышқыл пульпаны бейтараптау үшін әк пен сілтінің мөлшерін есептеу бейтараптандыру теңдеулері бойынша жүргізіледі:



1 тонна Қаражыра көмірінің жануы кезінде күкірт қышқылының 10,2688 кг пайда болғандықтан, бейтараптандыру үшін 5,867 кг әк қажет болады.

Келесі реакция бойынша пульпаның қышқылдығын арттыру үшін сілтіні қолданған жағдайда:



күкірт қышқылын бейтараптандыру үшін 8,383 кг сілті қажет болады, бұл әк көлемінен айтарлықтай үлкен.

Осылайша, пульпаның рН деңгейін арттырудың бір шарасы – әктің есептелген көлемін қосу. Бұл технология орынды, себебі жоғарыдағы есептеулер арқылы біз кальций қосылыстары бойынша аса қанығу болмайтынын және сулы күлұстағышта гипс пен кальций карбонатының шөгінділері пайда болмайтынын дәлелдедік.

Қорытынды

Мақалада келтірілген материал ылғал күл ұстау және айналмалы гидрокүл шығару жүйелерінің барлық кезеңдерінде өтетін процестерді түсінуге, кеңейтуге және тереңдетуге мүмкіндік берді. Пульпа қышқылдығының іс жүзіндегі мәндері алынды, физика-химиялық әдіспен күлқож материалының талдауы жүргізіліп, күлқожды материалдың құрамы анықталды.

Еритін түрдегі шөгінділердің түзілу шарттарының теориялық негіздемесі жасалды. Технологияны өңдеуге және оны іске асыру үшін құрал-жабдықты таңдауға мүмкіндік беретін СО₂ концентрациясы және Ланжелъе индексінің есептеуі жүргізілді.

Қышқылды пульпаны бейтараптау үшін күл компоненттерімен өзінен-өзі бейтараптауды, сонымен қатар сілтілік реагенттермен бейтараптауды жүргізу ұсынылды. Күкіртті газ сапалы және сандық мөлшерінің берілгендері бойынша түзілетін күкірт қышқылының мөлшері мен оны бейтараптауға қажетті реагенттер мөлшері есептелді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС. –М.: МЭИ, 2002. – с. 570.
- [2] Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2004.
- [3] Меньшиков В.Л., Морыганова Ю.А. Химический анализ в теплоэнергетике. –М.: МЭИ, 2008.
- [4] Кипер Р.А. Физико-химические свойства веществ. Справочник по химии. –Хабаровск, 2013.
- [5] Быстрицкий Г.Ф., Гасангаджиев Г.Г., Кожиченков В.С. Общая энергетика. Основное оборудование. –М.: Юрайт, 2018.
- [6] Bruce G. Miller, David Tillman. Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems. – Pennsylvania State University, 2008.

[7] Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учебное пособие. –М.: АСВ, 2007. – с. 656.

REFERENCES

- 1] Nazmeev Yu.G. Ash and slag removal systems of thermal power plants. –М.: MPEI, 2002. - с. 570.
- [2] Kasatkin A.G. The main processes and apparatuses of chemical technology. –М.: Aliyans, 2004.
- [3] Menshikov V.L., Moryganova Yu.A. Chemical analysis in the power industry. –М.: MPEI, 2008.
- [4] Kiper R.A. Physico-chemical properties of substances. Handbook of chemistry. –Khabarovsk, 2013.
- [5] Bystritskiy G.F., Gasangadzhiev G.G., Kozhichenkov V.S. General energy. Basic equipment. –М.: Yurait, 2018.
- [6] Bruce G. Miller, David Tillman. Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems. – Pennsylvania State University, 2008.
- [7] Frog B.N., Levchenko A.P. Water treatment. Tutorial. –М.: DIA, 2007. - p. 656.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В СИСТЕМЕ ГИДРОЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ ТЭС

К.С. Идрисова, А.А. Туманова*, Г.А. Колдасова

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: tumanova.aytbala@mail.ru

***Аннотация.** В статье исследованы физико-химические процессы, протекающие в системах мокрого золоулавливания и гидрозолоудаления ТЭС после сжигания угля. Проведен анализ пульпы золошлакового материала. Определено влияние компонентов золы на кислотность пульпы на этапах ее образования, транспортировки и оборотного использования жидкой части пульпы. В целях предупреждения кислотной коррозии даны предложения по самонейтрализации и нейтрализации пульпы. Проведен расчет получаемых процентных и весовых объемов золы, серной кислоты и нейтрализующих реагентов при сжигании 1 т угля месторождения «Каражыра».*

Предложена технология для уменьшения кислых свойств пульпы.

***Ключевые слова:** уголь, зола, шлак, пульпа, система ГЗУ, скруббер, щелочной реагент.*

INVESTIGATION OF PROCESSES OCCURRING IN THE HYDRO-ASH-SLAG REMOVAL SYSTEM OF THERMAL POWER PLANTS

K.S. Ydrisova, A.A. Tumanova*, G.A. Koldasova

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan
e-mail: tumanova.aytbala@mail.ru

***Abstract.** The physicochemical processes taking place in the systems of wet ash collection and hydraulic ash removal of thermal power plants after coal combustion are investigated in the article. An analysis of the pulp of ash and slag material was carried out. The influence of ash components on the acidity of the pulp at the stages of its formation, transportation and recycling of the liquid part of the pulp is determined. In order to prevent acid corrosion, suggestions for self-neutralization and neutralization of the pulp are given. Calculation of the obtained percentage and weight volumes of ash, sulfuric acid and neutralizing reagents when burning 1 ton of coal of the Karazhyra deposit was carried out. Technology of reducing acidic properties of pulp and ash was proposed.*

***Key words:** coal, ash, slag, pulp, slag, GMS, scrubber, alkaline reagent.*



МРНТИ 44.29.29

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ СПАСАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Е.К. Умбеткулов^{1,*}, Б.С. Сахариев², Е.Т. Амитов¹

¹Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
e-mail: e.umbetkulov@aes.kz

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы применения геоинформационных систем (ГИС) при оценке вероятности повреждения городских электрических сетей при сильных землетрясениях. Проведено сравнение степени повреждения и разрушения жилых многоэтажных домов (ЖМД) и элементов распределительных электрических сетей. Показано, что потребительские подстанции, находящиеся на территории ЖМД, более устойчивы, чем эти здания, и могут использоваться для питания электроинструментов спасательных служб. На основе использования ГИС-карт разработана методика расчета и построено «дерево отказов» для количественной оценки вероятности подачи электроэнергии на потребительскую подстанцию ЖМД при различной интенсивности землетрясения. Результаты исследований представляют собой полезный справочный материал для планирования и организации аварийно-спасательных работ при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.*

***Ключевые слова:** землетрясение, спасательные работы, электроснабжение, ГИС-карты, электрические сети, трансформаторная подстанция, вероятность.*

Введение

Многие населенные пункты и крупные города находятся в зонах прогнозируемых сильных землетрясений и могут понести огромный материальный ущерб и гибель людей при сильных землетрясениях.

Рост численности городского населения, увеличение этажности жилых и административных зданий приводит к повышению их уязвимости. Поэтому главной целью поисково-спасательных и других неотложных работ (ПС и ДНР) при землетрясениях является поиск и спасение пострадавших, заблокированных в завалах, оказание им первой медицинской помощи и эвакуация в безопасные места. Наибольшая интенсивность таких работ приходится на первые часы после землетрясения [1].

В этих условиях, важной задачей электроэнергетических служб будет оперативное электроснабжение электроприемников, необходимых для проведения спасательных работ (общее и локальное освещение, перфораторы, болгарки, электросварка и т.п.).

В настоящее время одним из эффективных инструментов управления и мониторинга общего состояния распределительных электрических сетей является использование карт, составленных на основе ГИС технологий. ГИС-карты позволяют моделировать «реальные электрические сети и системы», помогают проектировать оптимальную траекторию воздушных и кабельных линий электропередачи и местоположение трансформаторных подстанций (ТП) и проводить анализ электрических нагрузок и техническое состояние электрооборудования. Кроме того, ГИС может использоваться в эксплуатации и управлении распределительными системами: устранении неисправностей, планировании обслуживания и ремонта, расширении и оптимизации электрической сети и т.д. [2,3].

ГИС технологии успешно применяются и при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. В частности, для управления и маршрутизации мобильных источников электроэнергии (МИЭ) [4], организации аварийных и восстановительных работ на мостах и других мероприятиях [5].

Вместе с тем, в существующих литературных источниках не уделяется должного внимания более подробному анализу устойчивости элементов городских распределительных электрических сетей с целью их максимального использования при сильных землетрясениях. Преобладает мнение достаточности применения, в таких ситуациях МИЭ [4 и другие]. Хотя нетрудно доказать ограниченность таких источников электроэнергии, их крайнюю недостаточность для многочисленных объектов города и, наконец, проблемы их доставки в начальный период (первые часы) территориальных чрезвычайных ситуаций.

Материалы и методы

При сильных землетрясениях высока вероятность отключения централизованного электроснабжения по двум основным причинам:

- повреждение (полностью или частично) электрических сетей и систем;
- диспетчерское отключение электрических сетей из-за предупреждения вероятных пожаров или взрывов газа от короткого замыкания в электропроводах зданий.

Данная статья посвящена анализу указанных причин и обоснованию эффективных путей оперативного электроснабжения приоритетных объектов (в основном, ЖМД) на начальном этапе сильных землетрясений. При этом основное внимание уделено централизованному электроснабжению, так как численность МИЭ в городах крайне ограничена.

Приоритетным объектом исследования приняты потребительские трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, которые находятся на дворовой территории практически всех ЖМД. В свою очередь, от них несложно проводить временные линии электропередачи или удлинители до электроприемников аварийно-спасательных служб.

Сравним устойчивость ЖМД, ТП-10/0,4 кВ и воздушных линий электропередач (ЛЭП) при различной интенсивности землетрясений. При этом следует учесть, что в городах получили распространение кабельные распределительные линии, устойчивость которых очень высока и неоспорима.

На рисунке 1 приведены зависимости вероятности повреждения или разрушения ЖМД, ЛЭП и ТП, размещенных в кирпичных зданиях, от воздействия различной степени землетрясений [1,6,7].

Из рисунка 1 видно, что слабые повреждения и средние разрушения ЖМД начинаются при интенсивности землетрясения 3-6 баллов (по шкале MSK-64). В этих же условиях основные элементы электрических сетей (ЛЭП, ТП и т.п.) могут находиться в рабочем состоянии. Если учесть, что в жилых массивах города получили распространение комплектные трансформаторные подстанции КТПН-10/0,4 кВ (около 50%) и кабельные линии для распределения электроэнергии, то можно предполагать, что потребительские ТП-10/0,4 кВ будут находиться в рабочем состоянии даже при сильных разрушениях отдельных гражданских зданий. В свою очередь, от таких подстанций можно организовать временные кабельные или воздушные линии электропередачи напряжением 0,38/0,22 кВ для электроснабжения ПС и ДНР.

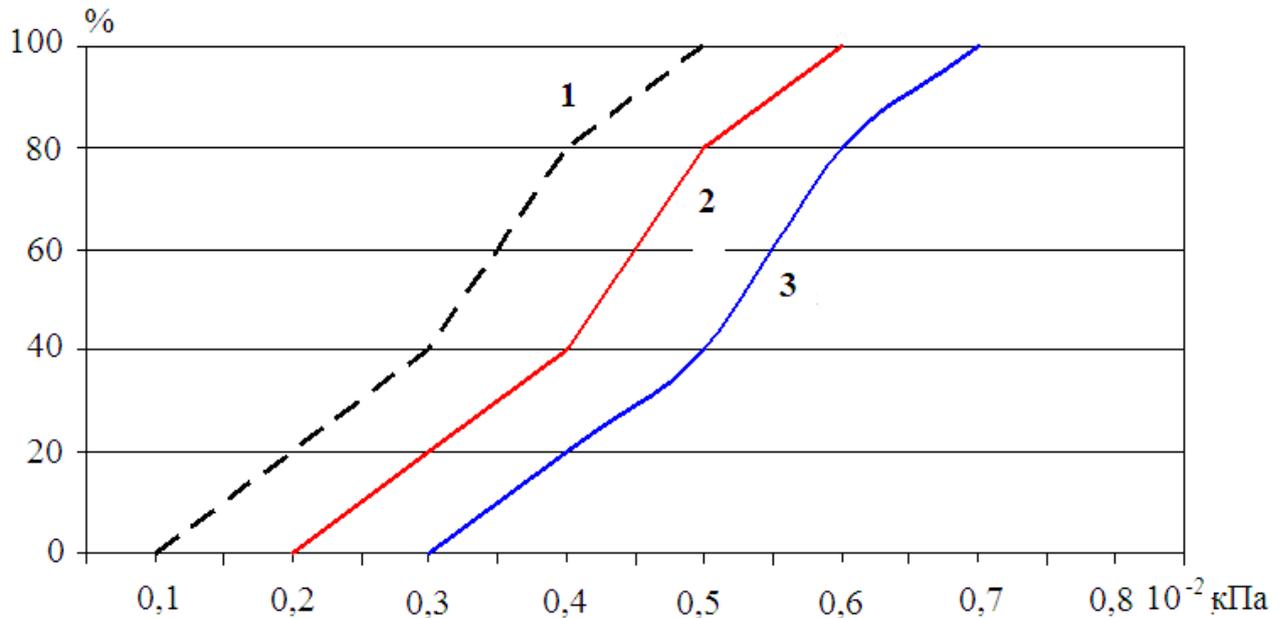


Рисунок 1 – Зависимость вероятности разрушения ЖМД (1), ТП (2) и ЛЭП (3) от различной степени землетрясения

Отсюда, возникает необходимость оценки возможности подачи электроэнергии на потребительские ТП-10/0,4 кВ по городским распределительным электрическим сетям от энергосистемы при различной интенсивности землетрясений.

Учитывая поступательное развитие энергосистемы города можно предопределить его высокую устойчивость и живучесть. Так, электроэнергетическая система г.Алматы питается не только от крупных городских электростанций, но и тесно связана высоковольтными ЛЭП с соседними областями и Северным регионом страны. Это позволяет предполагать, что при достаточно высокой степени землетрясений, есть возможность обеспечивать необходимым количеством электроэнергии ПС и ДНР.

Для оценки вероятности повреждения элементов городских электрических сетей использовались фрагменты ГИС-карт, разработанных учеными Алматинского университета энергетики и связи имени Г. Даукеева [8].

Отметим, что в приложениях ГИС-карты наносятся характеристики трансформаторных подстанций: их координаты, типы трансформаторов, их мощность и другие параметры. В части кабелей – указываются их тип, марка, длина и другие характеристики. Данные ГИС, как правило, постоянно обновляются.

Используя фрагмент такой ГИС-карты, приведенной на рисунке 2, в данной статье проведена оценка вероятности подачи электроэнергии на потребительскую подстанцию ЖМД на основе известных методов логистического расчета.

В качестве примера, проведена оценка вероятности подачи электроэнергии на ТП1, находящегося около ЖМД, при возможных сильных землетрясениях 7 и 8 баллов. На ГИС-карте рассматриваемая ТП1 питается отдельными кабельными линиями от ТП2 и ТП3, которые, в свою очередь, получают электроэнергию от разных ПС напряжением 35/10 кВ.

Расчетная схема этого участка электрической сети приведена на рисунке 3.

Пользуясь известными логистическими операторами **И** и **ИЛИ**, на рисунке 4 приведено «дерево отказов» для рассматриваемого примера, то есть структурная схема оценки риска отключений (или неподачи) электроэнергии на ТП1 [9].

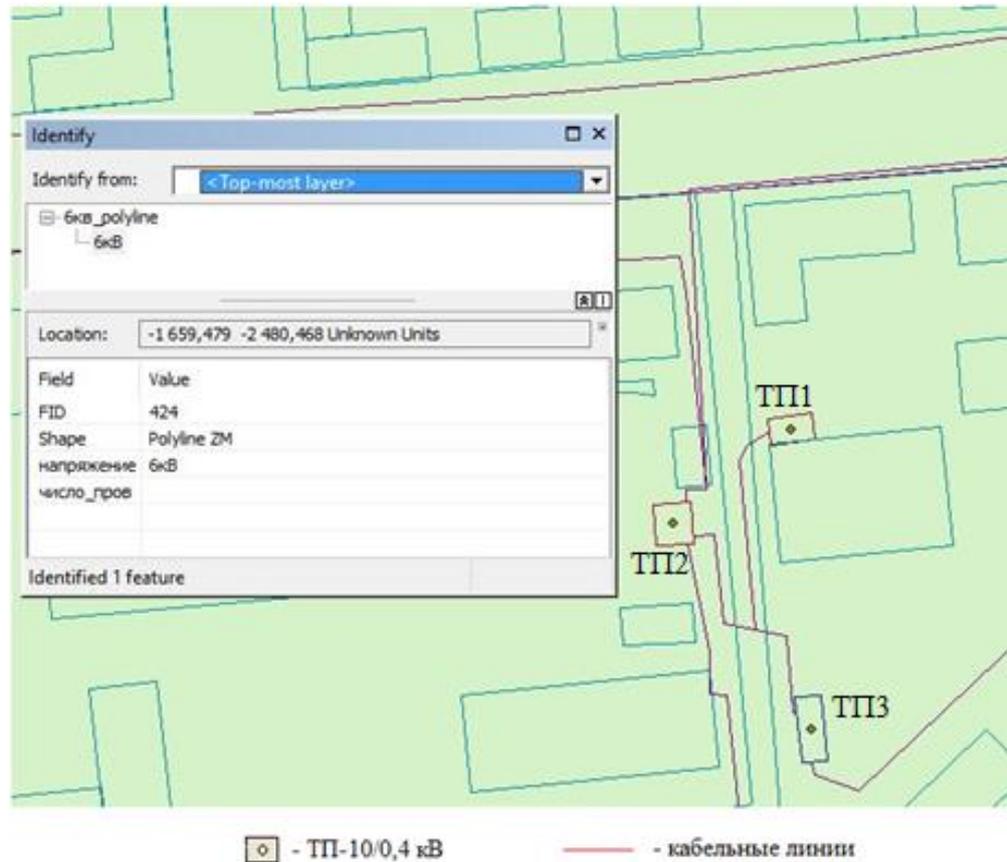


Рисунок 2 – Кабельные линии и потребительские ТП-10/0,4 кВ

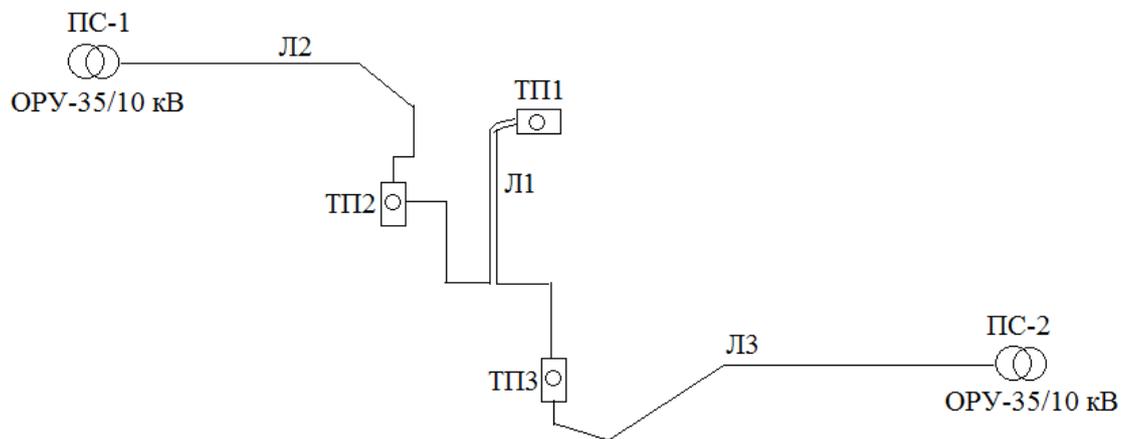


Рисунок 3 – Расчетная схема участка электрической сети

Из рисунка 4 видно, что отключение ТП1 (обозначен А1) зависит от повреждения кабельной линии (В1) или механического повреждения самой ТП1 (В2) или одновременного отключения ТП2 и ТП3. Аналогичная картина наблюдается в других цепочках схемы.

Для построения математических моделей использованы известные рекомендации по логистическим операторам И и ИЛИ. Ниже приведены аналитические формулы расчета вероятностей отключения ТП1 (P_{A1}) при землетрясении силой 7 и 8 баллов.

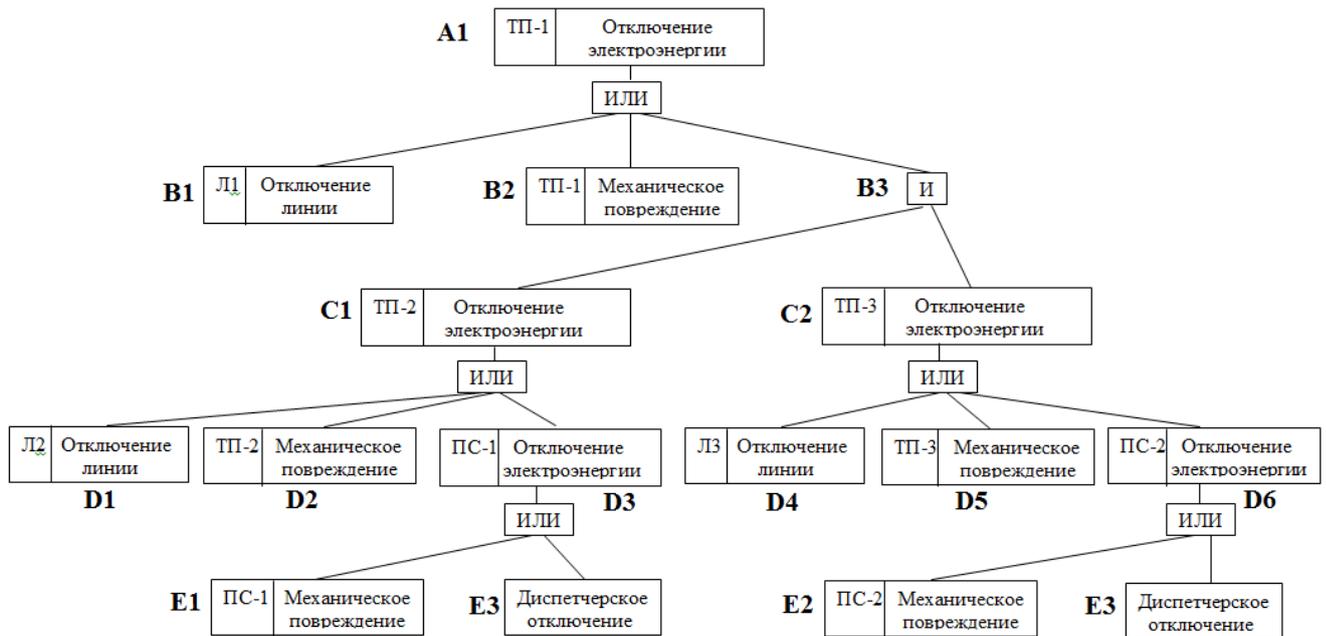


Рисунок 4 – «Дерево отказов» оценки риска отключений электрической сети

$$P_{A1} = 1 - (1 - P_{B1})(1 - P_{B2})(1 - P_{B3})$$

$$P_{B3} = P_{C1} \cdot P_{C2}$$

$$P_{C1} = 1 - (1 - P_{D1})(1 - P_{D2})(1 - P_{D3})$$

$$P_{C2} = 1 - (1 - P_{D4})(1 - P_{D5})(1 - P_{D6})$$

$$P_{D3} = 1 - (1 - P_{E1})(1 - P_{E3})$$

$$P_{D6} = 1 - (1 - P_{E2})(1 - P_{E3})$$

Количественные значения ожидаемых вероятных отказов элементов «дерева отказов» определялись следующим образом:

D1, D4 и B1 – из литературных источников [1, 6, 7];

E3 – прогноз ДЧС г. Алматы;

D2, D5, B2, E1, E2 – прогнозы специалистов АО «Алатау Жарык Компаниясы» и НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»;

A1, B3, C1, C2, D3 и D6 – результаты расчетов.

Расчеты проведены для вероятных землетрясений силой 7 и 8 баллов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки рисков аварий

Элементы «дерева отказов»	Наименование элемента «дерева отказов»	7 баллов		8 баллов	
		E3=0,5	E3=0	E3=0,75	E3=0
A1	Отключение электроэнергии на ТП1	0,33	0,02	0,8	0,36
B1, D1, D4	Кабельные линии	0	0	0	0

E3	Диспетчерское отключение	0,5	0	0,75	0
B2, D2, D5	Повреждение ТП1, ТП2, ТП3 (КТПН 10/0,4 кВ)	0	0	0,15	0,15
D3, D6	Повреждение ПС (ОРУ 35/10 кВ)	0,15	0,15	0,43	0,43
C1, C2	Отключение электроэнергии на ТП2 и ТП3	0,575	0,15	0,88	0,5

Из таблицы 1 видно, что вероятность отключения электроэнергии от ТП1 при интенсивности землетрясения 7 баллов, составила $P_{A1} = 0,33$. При этом вероятность отключения электрической сети диспетчерами принята $E3 = 0,5$.

При отсутствии диспетчерского отключения ($E3 = 0$) вероятность отключения ТП1 снижается, при 7 баллах землетрясения с $A1 = 0,33$ до $A1 = 0,02$ и при 8 баллах - с $A1 = 0,8$ до $A1 = 0,36$. Тем самым повышается шанс подачи электроэнергии на ТП1 и обеспечение успешного проведения спасательных работ даже при сильных землетрясениях.

Отметим, что диспетчерское отключение (во избежание взрывов газов и пожаров от электричества) можно сократить с помощью выключения встроенных или пристроенных к ЖМД распределительных устройств, которые питаются от ТП-10/0,4 кВ. Эти несложные операции могут проводить дежурные электрики КСК, специалисты РЭС или другие службы.

Выводы

Показана возможность использования ГИС-карт для оценки вероятности повреждения городских распределительных электрических сетей при сильных землетрясениях.

Установлено, что слабые повреждения и средние разрушения ЖМД, в основном, начинаются при интенсивности землетрясения 3-6 баллов (по шкале MSK-64). При таких же условиях основные элементы электрических сетей (ТП-10/0,4 кВ, ЛЭП и кабельные линии) могут находиться в работоспособном состоянии.

Предложены методические основы оценки вероятности повреждений городских распределительных электрических сетей с использованием ГИС-карт. Разработано «дерево отказов» для количественной оценки вероятности подачи электроэнергии на потребительскую подстанцию ЖМД при различной интенсивности землетрясения.

Полученные результаты позволяют утверждать возможность использования распределительных электрических сетей для проведения ПСиДНР при землетрясениях силой до 7 и 8 баллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / под общ. ред. С.К. Шойгу, Г.П. Саков, М.П. Цивилев, И.С. Поляков и др. – М.: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. – 166с.
- [2] S. Mathankumar and P. Loganathan. GIS Based Electrical System Planning and Network Analysis // World Engineering & Applied Sciences Journal 6 (4): 215-225, 2015. ISSN 2079-2204
- [3] N. Rezaee, M. Nayeripour, A. Roosta, T. Niknam. Role of GIS in Distribution Power Systems //World Academy of Science. Engineering and Technology / International Journal of Electrical and Computer Engineering. Vol:3,№:12, 2009.
- [4] A.K. Sharma, Amit Goel. Using GIS to develop a mobile communications network for disaster-damaged areas // International Journal of Digital Earth, №7:4,2007, pp 279-293.
- [5] Ming-Kuan Tsai, Nie-Jia Yau. Using mobile disaster response system in bridge management // Journal of Civil Engineering and Management, 20(5),2014. pp 737-745.
- [6] Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: КолосС, 2005.- 216 с.

[7] Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х частях.//Ч.4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности, /Научн. руковод. К.В.Фролов.- М.: МГОФ «Знание», 2007.- 864 с: ил.

[8] Сахариев Б.С. Практическое применение геоинформационных технологий в анализе электрических сетей // ВИТ-2004, Алматы, КазНУ, 2004. С. 23-27.

[9] Техногенный риск: учебное пособие / Н.Н.Чура; под ред. В.А.Девисилова. – М.: КНОРУС, 2011.- 280с.

REFERENCES

[1] Sakov, G. P., Tsivilev, M. P., Poliakov, I. S. et al.; In: Shoigu, S. K. (1998). Obespechenie meropriyatii i deistvii sil likvidatsii chrezvychainyh situatsii. Book 2. Operativnoe prognozirovaniye inzhenernoi obstanovki v chrezvychainyh situatsiiyah. M.: ZAO «PAPIRUS», 166

[2] S. Mathankumar and P. Loganathan. GIS Based Electrical System Planning and Network Analysis // World Engineering & Applied Sciences Journal 6 (4): 215-225, 2015. ISSN 2079-2204

[3] N. Rezaee, M. Nayeripour, A. Roosta, T. Niknam. Role of GIS in Distribution Power Systems //World Academy of Science. Engineering and Technology / International Journal of Electrical and Computer Engineering. Vol:3,№:12, 2009.

[4] A.K. Sharma, Amit Goel. Using GIS to develop a mobile communications network for disaster-damaged areas // International Journal of Digital Earth, №7:4,2007, pp 279-293.

[5] Ming-Kuan Tsai, Nie-Jia Yau. Using mobile disaster response system in bridge management // Journal of Civil Engineering and Management, 20(5),2014. pp 737-745.

[6] Kurdyumov V., Zotov B.(2005) Design and calculation of safety features. M.: KolosS, 216

[7] Security of Russia. Risk and safety analysis. In 4 parts. / Part.4. Scientific-methodical base of risk and safety analysis, / Scientific. heads K.V. Frolov.- M.: MGOF “Knowledge”, 2007.- 864

[8] Sakhariyev B. The practical application of geographic information technologies in the analysis of electrical networks (2004) ВИТ-2004, Алматы, КазНУ, 23-27

[9] Chura N.N., Devisilov V.A. Tekhnogennyy risk (Technogenic Risk) (2011). Moscow: Knorus, 280

ЖЕР СІЛКІНІСІ КЕЗІНДЕ ҚҰТҚАРУ ЖҰМЫСТАРЫ МЕН БАСҚА КЕЗЕК КҮТТІРМЕЙТІН ЖҰМЫСТАРДЫ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Е.Қ. Үмбетқұлов^{1,*}, Б.С. Сахариев², А.Т. Әмитов¹

¹«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: e.umbetkulov@aes.kz

Аңдатпа. Мақалада қатты жер сілкінісі кезінде қалалық электр тораптарына зақым келтіру ықтималдығын бағалауды кезінде геоақпараттық жүйелерді (ГАЗ) қолдану мәселелері қарастырылған. Көп қабатты тұрғын үйлердің (КТҮ) және таратушы электр желілері элементтерінің бүліну және қирау дәрежесі салыстырылған. КТҮ аумағында орналасқан тұтынушы қосалқы станциялары бұл ғимараттарға қарағанда барынша орнықты екендігі және оларды құтқару қызметтерінің электр құралдарына пайдалануға болатындығы көрсетілген. ГАЗ карталарын қолдану негізінде есептеу әдісі жасалып, әр түрлі жер сілкінісі кезінде КТҮ тұтынушы қосалқы станцияларына электр энергиясын беру мүмкіндігін сандық бағалау үшін «бас тарту ағашы» салынды. Зерттеу нәтижелері табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайлар кезінде апаттық-құтқару жұмыстарын жоспарлау мен ұйымдастыру үшін пайдалы анықтамалық материал болып табылады.

Түйін сөздер: жер сілкінісі, құтқару жұмыстары, электрмен жабдықтау, ГИС-картасы, электр торабы, трансформаторлық қосалқы станция, ықтималдық.

TOWARDS THE QUESTION OF ELECTRIC POWER SUPPLY OF RESCUE AND OTHER EMERGENCY WORKS AT EARTHQUAKES

Ye. K. Umbetkulov^{1,*}, B.S. Sakhariev², A.T. Amitov¹

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: e.umbetkulov@aes.kz

***Abstract.** The use of geographic information systems (GIS) in assessing the likelihood of damage to urban electrical networks during strong earthquakes is considered in the article. A comparison of the degree of damage and destruction of residential multi-storey buildings (RMSB) and the elements of distribution electric networks is carried out. It is shown that consumer substations located on the territory of the railway, are more stable than these buildings, and can be used to power the power tools of rescue services. Based on the use of GIS maps, a calculation methodology has been developed and a “fault tree” has been constructed to quantify the probability of supplying electricity to a consumer substation of residential multi-storey buildings at various earthquake intensities. The research results are useful reference material for planning and organizing emergency rescue operations in natural and man-made emergencies.*

***Key words:** earthquake, rescue operations, power supply, GIS-maps, electric networks, transformer substation, probability.*



МРНТИ 44.29.29

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ В PSCAD/EMTDC

А. К. Мурат, С. Е. Соколов, Р. Б. Сағынбек, Е.К. Умбеткулов*, И.С. Соколова

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: e.umbetkulov@aes.kz

***Аннотация.** Управляемые шунтирующие реакторы с подмагничиванием постоянным током используются при гибких способах регулирования реактивной мощности в энергосистеме. В статье представлен обзор реакторов различных типов. Сравнивается конструкция магнитопроводов реакторов, позволяющая реализовать две разные схемы подключения сети обмоток, параллельного встречного и параллельного согласного. Описан принцип полупериодного намагничивания участков магнитопровода (полустержней), на которых расположены обмотки реакторов. Для уточнения параметров и разработки предложений по изготовлению опытного промышленного образца в программном комплексе PSCAD была создана адекватная математическая модель реактора. Предварительные расчеты и сравнительный анализ показали, что конструкция управляемого реактора с трехстержневым магнитопроводом будет более простой, с меньшими размерами и, следовательно, дешевле.*

***Ключевые слова:** шунтирующий реактор, трехфазный трехстержневой магнитопровод, моделирование, UMEC, PSCAD.*

1. Введение

Создание управляемых или гибких линий электропередач, которые являются основной частью интеллектуальных сетей и систем, требует использования устройств FACTS (гибких систем передачи переменного тока) и, в частности, устройств для регулирования реактивной мощности и напряжения. Такие устройства включают управляемые шунтирующие реакторы (УШР) [1,2,3].

За последние годы Запорожским трансформаторным заводом, турецкой компанией «Best transformer» и рядом других производителей выпускаются однофазные и трехфазные конструкции реакторов с использованием четырехстержневых и восьмистержневых магнитопроводов. При этом реакторы делят рабочие стержни на два полустержня (в однофазной и трехфазной версиях соответственно).

Для компенсации высших гармоник потребляемого тока в реакторах указанных производителей использовался принцип полупериодного насыщения полустержней, на которых расположены обмотки. Реализация этого принципа осуществляется путем увеличения поперечного сечения ярма относительно поперечного сечения рабочей половины стержня [2, 4]. В этом случае кривая намагничивания электротехнической стали аппроксимируется прямой линией, поскольку предполагается регулирование в области предельного насыщения стержней, и текущий процесс регулирования происходит путем перемещения синусоидальной кривой потока переменного магнитного поля в линейную часть, как показано на рисунке 2.

В режиме, когда синусоидальный магнитный поток полностью переходит к прямой части характеристики за точкой перегиба, общее значение индукции в рабочих стержнях становится 2, 6-2, 8 Тл. В этом случае будет существенный рассеивающий поток, переменный поток, который может привести к увеличению дополнительных потерь в обмотках и элементах конструкции [5]. В реакторах мощностью 60 МВА или более при производстве ЗТЗ рассеивающий поток локализуется в

дополнительных ярмах, и в меньших реакторах такое действие не предусматривается. Для таких решений нет технического обоснования.

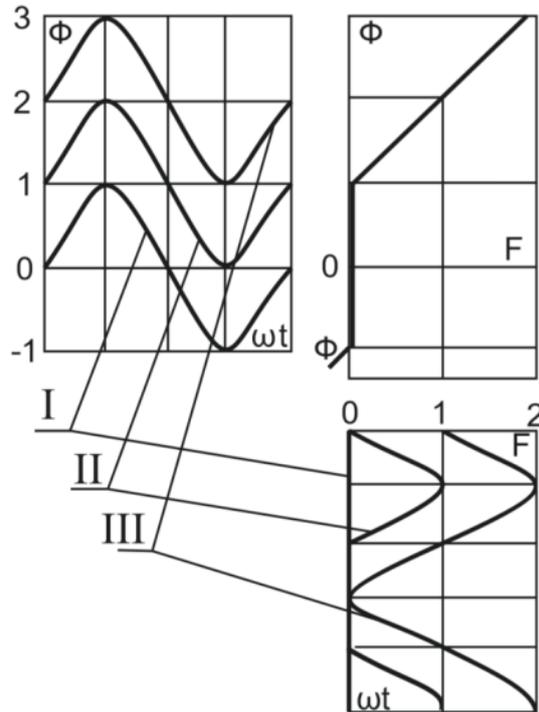


Рисунок 2 - Принцип работы управляемого реактора

Возможность использования трехстержневого магнитопровода не рассматривалась, хотя из рисунка 3 легко видеть, что в этом случае объем электромагнитной стали, размеры реактора в целом и ток холостого хода будут меньше.

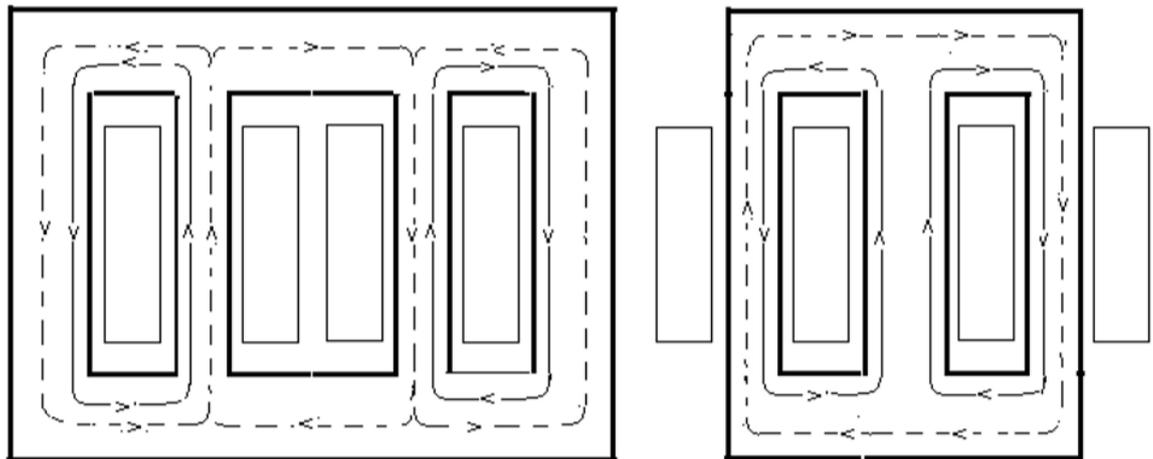


Рисунок 3 - Сравнительные размеры магнитопроводов

Таким образом, для управляемых реакторов с мощностью до 25 МВАр и напряжением до 110 кВ в однофазной конструкции могут использоваться магнитопроводы с тремя стержнями, аналогичные стандартным трансформаторам, или четырехстержневые.

Поскольку для управляемых реакторов используют классический метод намагничивания, при этом поперечное сечение и индукция магнитного потока на всех участках магнитопровода (стержнях и ярме) одинаковы, и формирование тока реактора осуществляется согласно кривой естественного намагничивания, как и в случае реакторов на магнитных цепях типовых трансформаторов,

интересным является использование принципа предельного насыщения для трехстержневых магнитопроводов [1, 2].

Принцип максимального насыщения магнитопровода трехстержневого магнитопровода реализуется путем увеличения поперечного сечения яра и средних стержней относительно поперечного сечения рабочих стержней, по меньшей мере, в 1,5 раза (рисунок 4).

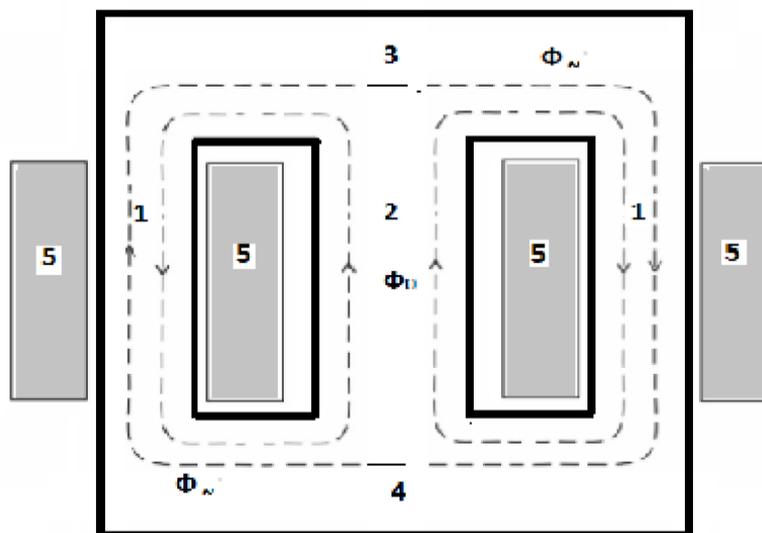


Рисунок 4 - Конструкция шунтирующего реактора

Участки обмотки сети включаются параллельно. Переменный магнитный поток замыкается по периметру магнитопровода, а в участках стержней индукция магнитного потока выбирается по аналогии с силовыми трансформаторами в диапазоне 1,6-1,8 Тл, в участках с яром не более 1,0 Тл. Поперечное сечение среднего стержня должно быть не менее чем в 1,5-1,9 раза больше поперечного сечения рабочих стержней.

Фактически, при кусочно-линейной аппроксимации кривой намагничивания, аппроксимация двумя прямыми линиями будет более правильной, когда во время процесса регулирования перемещение синусоидальной кривой переменного магнитного потока будет происходить через точку перегиба.

Возможность использования технологии изготовления, конструкции магнитопровода и обмоток типовых трансформаторов соответствующей мощности и напряжения для управляемых реакторов исключает необходимость детального электромагнитного расчета с выбором электромагнитных нагрузок и оптимизацией конструкции и сводится к выбору мощности трансформатора и проверке возможности его использования в качестве фазы реактора с учетом схемы и конструктивных особенностей.

2. Параметры физической модели УШР

Для такого выбора необходимо иметь сравнительные данные для аналогичных характеристик управляемых реакторов, которые невозможно получить путем сравнения реакторов различных мощностей и классов напряжения, уже произведенных и находящихся в эксплуатации. Такие данные могут быть получены с помощью физико-математического моделирования и сравнения электромагнитных характеристик моделей одинаковой мощности и напряжения.

Для решения этих проблем были созданы три физические модели управляемых реакторов, внешний вид и размеры фазы магнитной цепи одного из которых показаны на рисунке 5. Поперечное сечение внешних стержней составляет $0,251 \text{ м}^2$, поперечное сечение среднего стержня $0,46 \text{ м}^2$, сечение яра $0,46 \text{ м}^2$.

Сердечник физической модели изготовлен из электротехнической стали марки 3409 толщиной 0,27 мм. Схема подключения реактора с групповым управлением показана на рисунке 6.

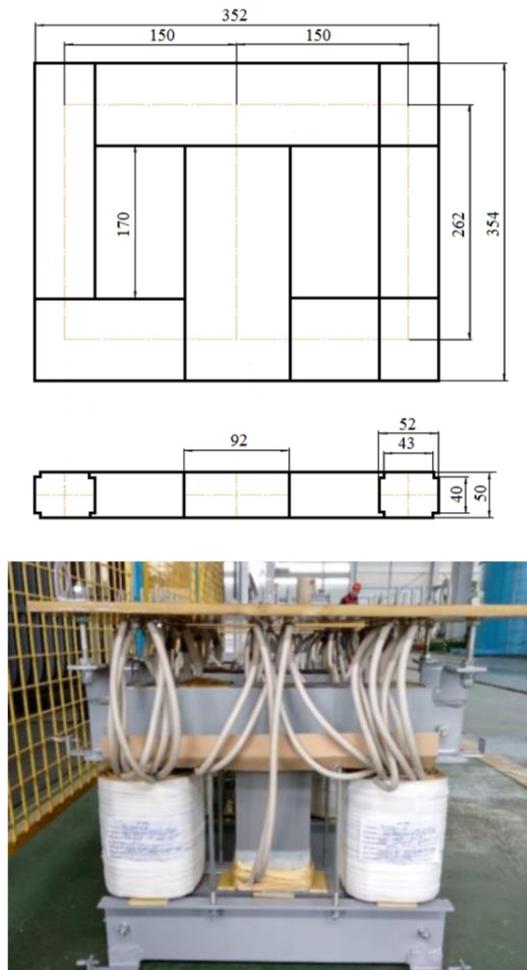


Рисунок 5 - Параметры и внешний вид физической модели реактора

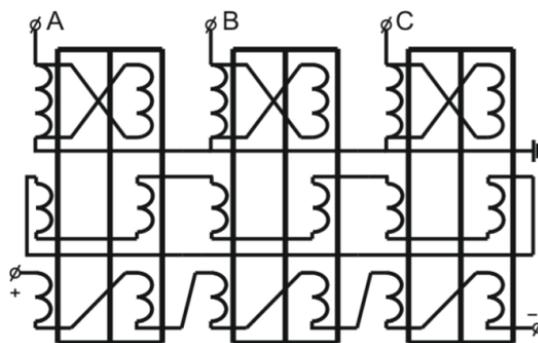


Рисунок 6 - Схема подключения трехфазного реактора

3. Моделирования трехфазного УШР в PSCAD/EMTDC

Экспериментальные исследования электромагнитных процессов и гармонического состава токов моделей были использованы для оценки адекватности математической модели.

Для моделирования использовался программный пакет PSCAD / EMTDC. Моделирование также может быть выполнено в MATLAB/Simulink или ATPdraw/EMTP и т.д. В библиотеке PSCAD нет моделей управляемых реакторов с подмагничиванием постоянного тока, но есть готовая модель трансформатора УМЕС (унифицированная магнитно-эквивалентная схема модели трансформатора), которая представляет собой фазу трансформатора, состоящего из магнитной цепи с тремя первичными обмотками, вторичной и управляющей, что может быть использовано для создания схемы управляемых реакторов любой конструкции. В этом случае фаза УШР моделируется двумя

моделями трансформатора UMEC. Аналогичный метод моделирования используется в [4]. Модель трехфазного УШР представлена на рисунке 7.

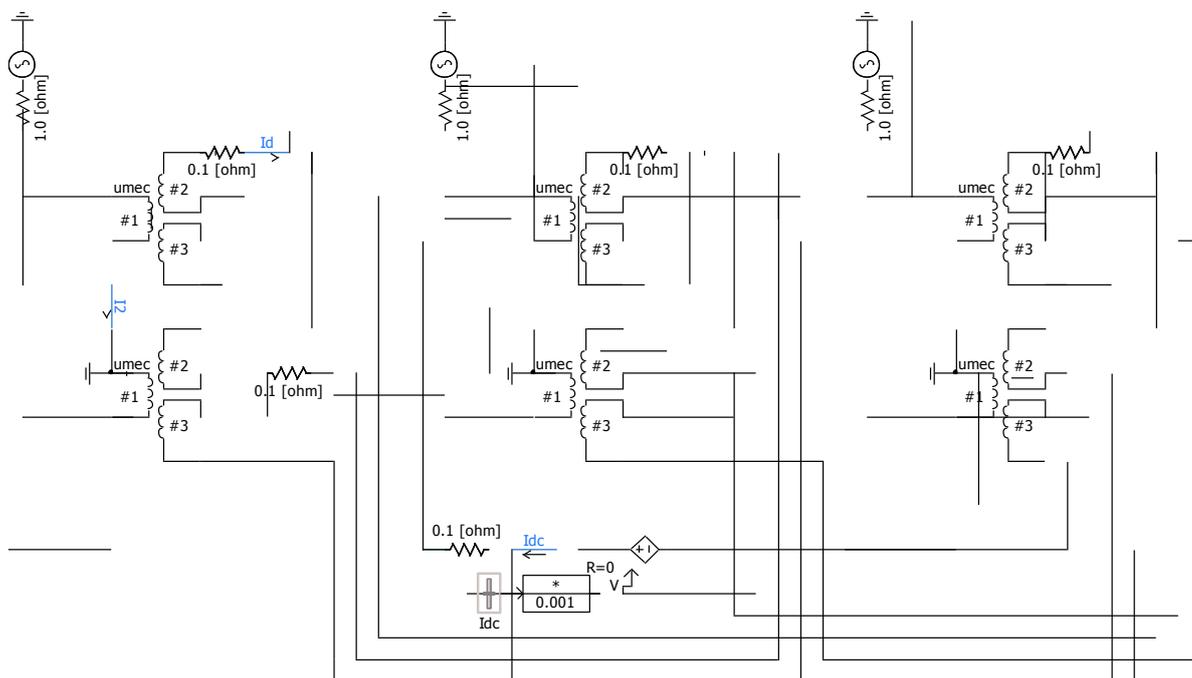


Рисунок 7 - Схема подключения трехфазной группы управляемого шунтирующего реактора PSCAD

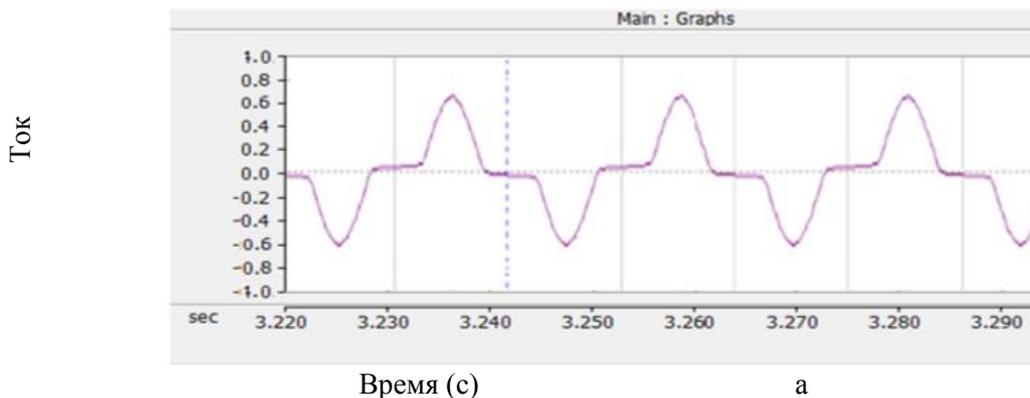
4. Конфигурации UMEC трансформатора

Конфигурации двух трансформаторов UMEC одинаковы. Первичное напряжение (RMS) и вторичное напряжение (RMS) составляют 220 В и 110 В соответственно. Общая номинальная мощность трансформаторов UMEC составляет 2 кВА. Отношение длины яра сердечника к длине стержня и отношение площади яра сердечника к площади стержня сердечника составляют 1 и 1,7 соответственно.

При использовании моделей трансформаторов UMEC необходимо иметь данные обмоток для размеров магнитной цепи и вольт-амперной характеристики.

Поскольку экспериментальная база не позволяла получить вольт-амперную характеристику модели, был сделан переход от кривой намагничивания к вольт-амперной характеристике с учетом реальных параметров.

Сравнительные результаты электромагнитных характеристик физико-математического моделирования показаны на рисунках 8-13 в режиме без нагрузки и при разных токах намагничивания.



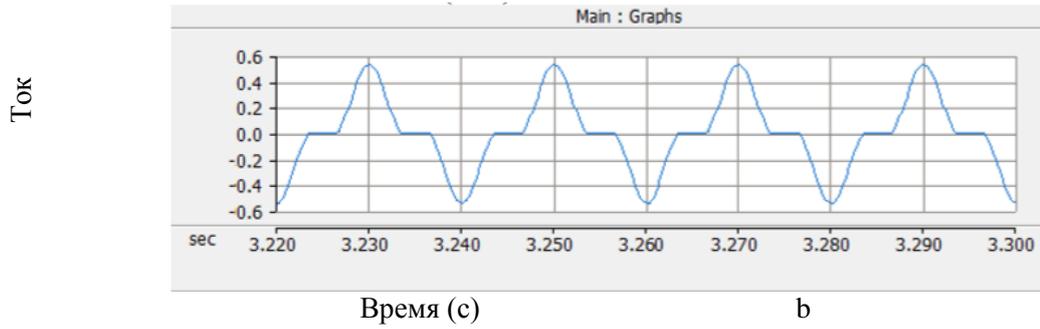


Рисунок 8 - Форма тока и среднееквадратичное значение физической (а) и математической (б) моделей MCR в режиме холостого хода

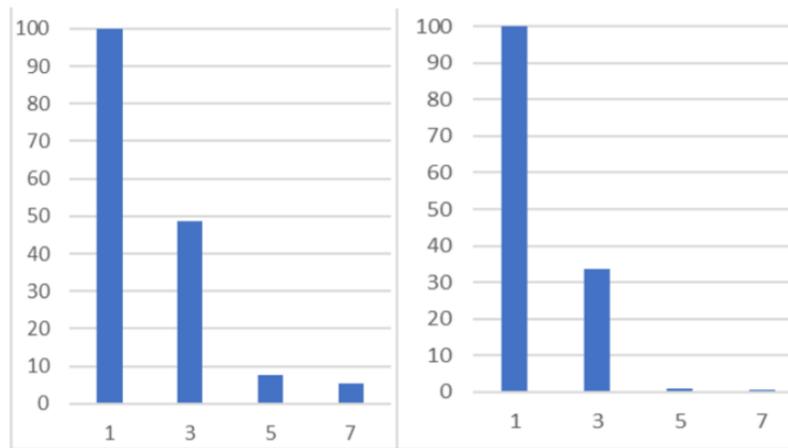


Рисунок 9 - Гармонический состав тока сетевой обмотки физической (а) и математической (б) моделей в режиме холостого хода

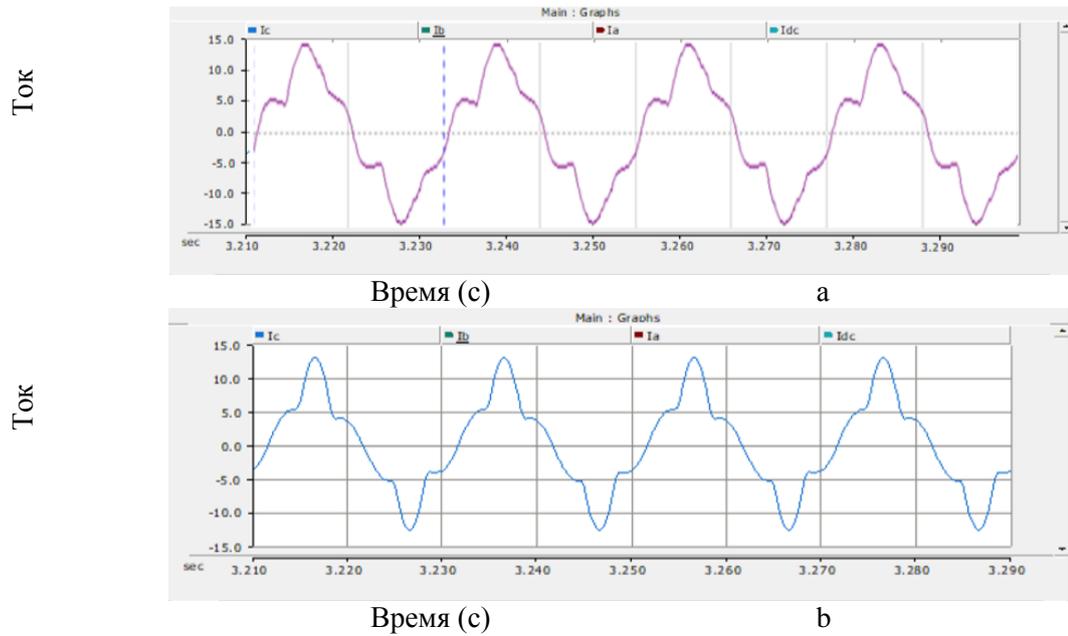


Рисунок 10 - Форма тока и среднееквадратичное значение физической (а) и математической (б) моделей MCR с намагниченностью 15 А

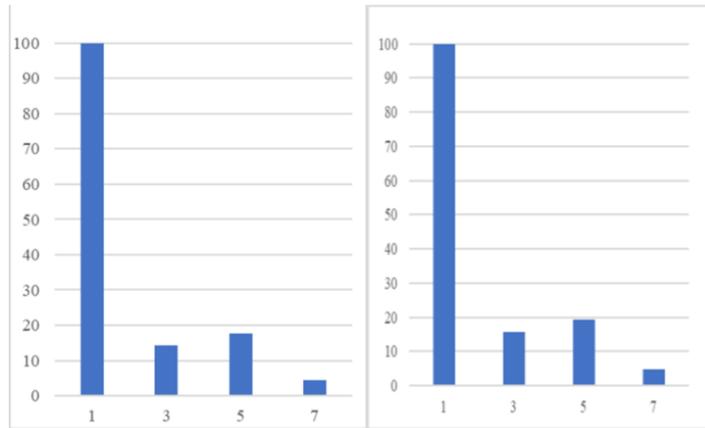


Рисунок 11 - Гармонический состав тока сетевой обмотки физической (а) и математической (б) моделей с намагниченностью 15 А

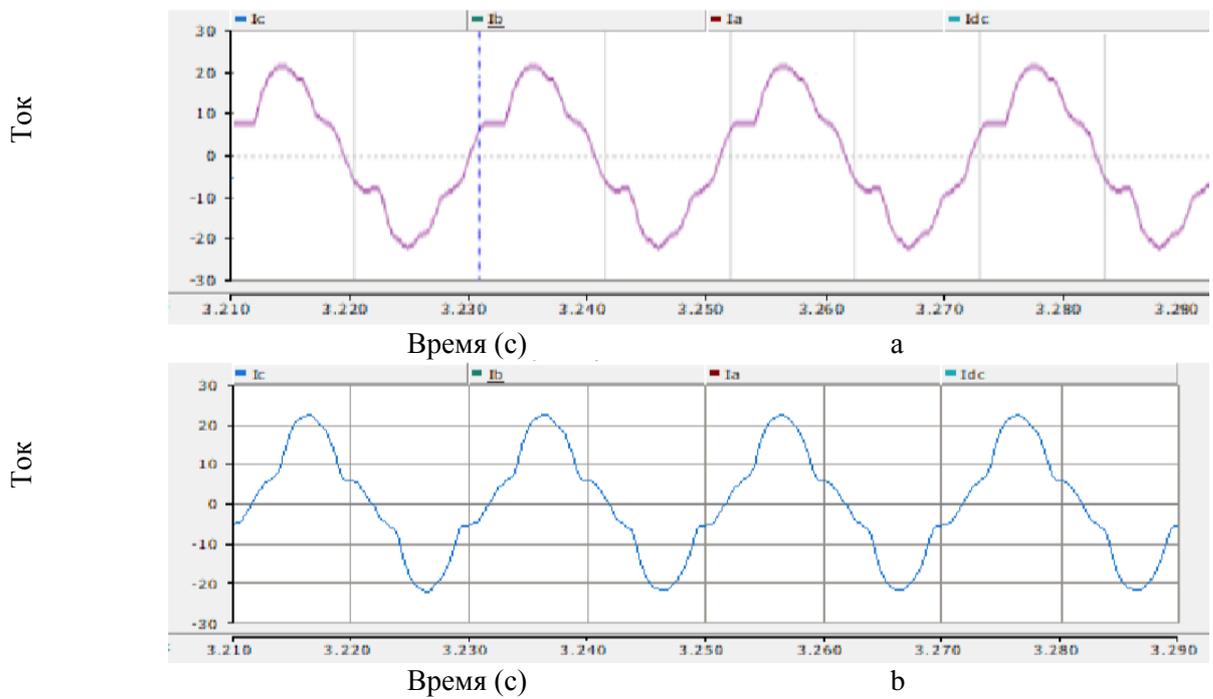


Рисунок 12 - Форма тока и среднееквадратичное значение физической (а) и математической (б) моделей МСР с намагниченностью 20 А

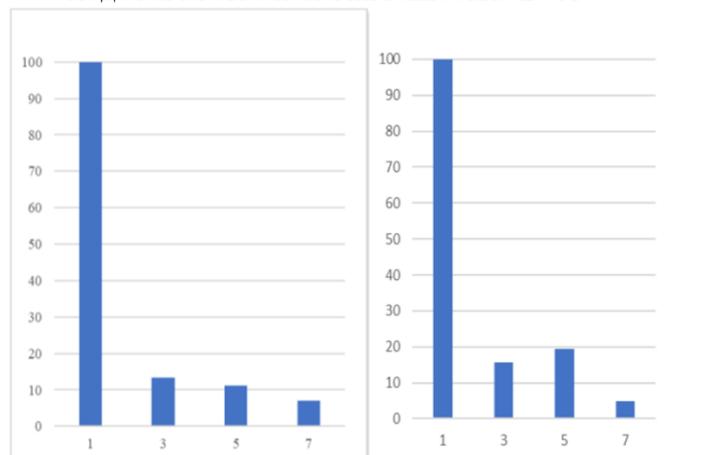


Рисунок 13 - Гармонический состав тока сетевой обмотки физической (а) и математической (б) моделей с намагниченностью 20 А

5. Вывод

Управляемые шунтирующие реакторы все чаще используются в энергосистеме Казахстана и других стран для регулирования реактивной мощности, стабилизации напряжения, снижения потерь и оптимизации электрических режимов. Экспериментальные исследования были проведены на физических моделях управляемых реакторов, которые показали целесообразность изготовления реакторов на трехстержневых магнитопроводах.

Как следует из кривых и гармонического состава, процентная погрешность определения высших гармоник тока сетевой обмотки не превышает 10%. Однако модель, разработанная в программном комплексе PSCAD, не позволяет напрямую изменять параметры магнитной цепи. Можно изменить поперечные сечения секций реактора, составив вольт-амперную характеристику. Как видно из приведенных выше рисунков, существующая модель реактора не соответствует требованиям к синусоидальности тока. В связи с этим необходимо улучшить форму кривой тока, увеличив поток рассеяния или выполнив ступенчатые стержни. Это решение может быть смоделировано в программном комплексе Matlab Simulink, что будет сделано в последующих исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Соколов С.Е., Долгополов А.Г. Управляемые реакторы. Обзор технологий. Журнал №3 (75). Новости электротехники, 2012.

[2] Долгополов А. Г. Управляемые шунтирующие реакторы. Принцип действия, конструкция, релейная защита и автоматика. Монография. 2-е добавление редактор - М .: Издательство. Дом "Энергия", 2016. - 282 с.

[3] Chen X, B. Chen, C. Tian, J. Yuan. Modeling and simulation of the multi-stage saturable magnetically controlled reactor with very low harmonics. In: Proceedings of the International Conference on Power Systems Transients; 2013.

[4] Брянцев А., Брянцев М., Базылев Б. и др. Компенсаторы мощности на основе шунтирующих реакторов с магнитным управлением в электрических сетях с напряжением от 110 кВ до 500 кВ. Конференция и выставка по передаче и распространению, Сан-Паулу, Бразилия, 2010, стр. 239-244.

[5] Карымов Р. Р., Эбадиан М. Сравнение магниторегулируемого реактора (MCR) и тиристорного управляемого реактора (TCR) с точки зрения гармоник. - Электроэнергетические системы. Том 29 с. 191-198, июнь 2006 г.

REFERENCES

[1] Sokolov., S.Y., Dolgoplov, A.G., Controlled reactors. Technologies review. Journal №3 (75) Electrical News 2012.

[2] Dolgoplov, A.G., «Controlled shunt reactors. Operating principle, construction, relay protection and automation». Monograph. 2d addition editor - M .: Publishing house "Energy", 2016. - 282.

[3] Chen, X., Chen, B., Tian, C., Yuan, J. Modeling and simulation of the multi-stage saturable magnetically controlled reactor with very low harmonics. In: Proceedings of the International Conference on Power Systems Transients; 2013.

[4] Bryantsev, A., Bryantsev M., Bazylev, B., et al. 2010. Power compensators based on magnetically controlled shunt reactors in electric networks with a voltage between 110 kV and 500 kV. In Proceedings of the 2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Lating America (T&D-LA), November 8-10, Sao-Paulo, pp. 239-244.

[5] Karymov R.R., Ebadyan M. Comparison of magnetically controlled reactor (MCR) and thyristor controlled reactor (TCR) from harmonics point of view, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* Volume 29, Issue 3, June 2006, pp. 191-198

PSCAD / EMTDC БАҒДАРЛАМАСЫНДА ТҰРАҚТЫ ТОК МАГНИТТЕЛУІ БАР БАҚЫЛАНАТЫН ШУНТТАУШЫ РЕАКТОРЛАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

А. К. Мурат, С. Е. Соколов, Р. Б. Сағынбек, Е.К. Умбеткулов*, И.С. Соколова

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: e.umbetkulov@aes.kz

Аңдатпа. Тұрақты ток магниттеумен басқарылатын шунттаушы реакторлар электр жүйесінде реактивті қуатты реттеудің икемді әдістері үшін қолданылады. Мақалада әртүрлі типтегі реакторларға шолу жасалған. Реакторлардың магнит құрылымы қарама-қарсы және параллель келісілген орамдар желісін қосудың екі түрлі сұлбасын іске асыруға мүмкіндік береді. Реакторлардың орамалары орналасқан магнит өткізгіш (жартылай ұстағыштар) учаскелерін жартылай мерзімді магниттеу принципі сипатталған. Параметрлерді нақтылау және PSCAD бағдарламалық кешенінде тәжірибелі өнеркәсіптік үлгіні жасау бойынша ұсыныстарды әзірлеу үшін реактордың бабабар математикалық моделі құрылды. Алдын-ала есептеулер мен салыстырмалы талдау, үш кернелі магнитті өткізгіші бар басқарылатын реактордың құрылымы қарапайым, көлемі аз, демек арзан болатынын көрсетті.

Түйін сөздер: шунттаушы реактор, үш фазалы үш кернеулі магнитті өткізгіш, моделдеу, UMEC, PSCAD.

RESEARCH AND MODELLING OF CONTROLLED SHUNT REACTORS WITH DC MAGNETIC BIASING IN PSCAD/EMTDC

A.K. Murat, S.Y. Sokolov, R.B. Сағынбек, Yer. Umbetkulov*, I.S. Sokolova

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan
e-mail: e.umbetkulov@aes.kz

Abstract. Controlled shunt reactors with DC bias are used for flexible methods of regulating reactive power in the power system. A review of various types of reactors is presented in the article. The design of the magnetic cores of the reactors, which makes it possible to implement two different schemes for connecting a network of windings, parallel oncoming and parallel consonants, is compared. The principle of half-period magnetization of sections of the magnetic circuit (half-rods) on which the windings of the reactors are located is described. An adequate mathematical model of the reactor was created to refine the parameters and develop proposals for the manufacture of a pilot industrial design in the PSCAD software package. Preliminary calculations and comparative analysis showed that the design of a controlled reactor with a three-core magnetic circuit will be simpler, smaller and, therefore, cheaper.

Key words: shunt reactor, three-phased three-core magnetic circuit, modeling, UMEC, program, PSCAD.



ГРНТИ 44.39.29

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Л.К. Ибраева, Е.О. Карташов

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: s.khan@aes.kz

Аннотация. В связи с быстрым ростом числа маломощных установок производства электроэнергии (ветрогенераторы, солнечные панели), а также тепловой энергии (солнечные коллекторы, биомасса) в настоящий момент становятся актуальными вопросы интеграции распределенной генерации в энергоснабжении. Распределенная генерация с включением возобновляемых источников энергии может обеспечить низкую стоимость и высокую надежность энергоснабжения в районах, где затруднена поставка энергии от централизованной сети.

В статье представлена разработка и исследование математической модели энергоснабжения на основе ветровой и солнечной генерации. Описан алгоритм управления распределения генерации между потребителями, который заключается в извлечении максимально доступной энергии от возобновляемых источников энергии в изменяющихся погодных условиях (скорость ветра и солнечная энергия) при сохранении качества и количества энергии на удовлетворительном уровне, достаточном для полноценного функционирования потребителей. В соответствии с этим алгоритмом более эффективно используется энергия возобновляемых источников энергии за счет лучшей стратегии переключения между потребителями и батарейными хранилищами. Моделирование и имитационные эксперименты выполняются с помощью инструментария MATLAB/Simulink. Алгоритм распределения генерации реализован в среде MATLAB/Stateflow.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, солнечные панели, аккумуляторные батареи, MATLAB/Simulink, MATLAB/Stateflow,

Введение

Под распределенной системой энергоснабжения понимается совокупность устройств и агрегатов (умные датчики, системы возобновляемой генерации и пр.) в энергетической станции, организованной виртуально посредством средств автоматизации. Распределенная энергетика подразумевает использование энергогенерирующих установок относительно небольшой мощности (от долей до нескольких десятков мегаватт электрической и такого же диапазона тепловой мощности), создаваемых под нужды конкретного потребителя. Объекты распределенной генерации в распределенной системе энергоснабжения определяются как модульные единицы, географически разнесенные и способные производить энергию мощностью от 1 кВт до 30 МВт, такие как солнечные панели, ветроэнергетические установки или комбинированные тригенерационные установки (при энергоэффективности не менее 75%). Объекты распределенной генерации самостоятельно формируют стоимость своей энергии, работают по собственному графику [1]. Применение разных типов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволяет извлекать максимальную выгоду от генерируемой энергии, компенсируя недостатки обоих источников энергии (безветренный день или ночное время суток) [2, 3]. В таких сетях объекты распределенной генерации располагаются как можно ближе к потребителям и объединяются в рамках распределенной системы. Каждый объект генерации рассматривается как дополнительный (резервный) источник энергии в сети, либо же как независимый участник локального энергоснабжения. Совокупность небольших локальных объектов

генерации может быть объединена для учета и контроля по принципу искусственных (виртуальных), так называемых Virtual Microgrid (Smartgrid), интегрированных в систему DEMS (Distributed Energy Management System – система управления распределенным энергоснабжением), которая обеспечивает распределение, мониторинг, учет ресурсов и многое другое. Функции DEMS системы могут решить ряд возникающих проблем, а именно: обеспечить координацию всех распределенных объектов генерации (например, ценообразование при генерации энергии, то есть поиск ближайшего наиболее доступного участника сети для удовлетворения потребностей в энергии для других участников) при практической реализации распределенной системы энергоснабжения. Надежная распределенная система энергоснабжения также сводит к минимуму перебои с питанием, а также помогает улучшить качество электроэнергии (уменьшение помех и колебаний, нормализация значения напряжения).

Как и традиционная энергетика, возобновляемая (альтернативная) требует разработки и внедрения систем контроля и сбора данных для реализации алгоритмов распределения ресурсов генерации, сбор и обработку данных энергетических показателей.

При моделировании работы комбинированной системы должна обеспечиваться бесперебойность энергоснабжения, которая может быть выражена следующим неравенством [4]:

$$P_{\text{бат}} + P_{\text{ген}} \geq P_{\text{пот}} * k_3, \quad (1)$$

где $P_{\text{бат}}$ – мощность, аккумулируемая в батареях, Вт;
 $P_{\text{ген}}$ – суммарная мощность, генерируемая всеми ВИЭ, Вт;
 $P_{\text{пот}}$ – мощность потребителей, Вт;
 k_3 – коэффициент запаса.

Коэффициент запаса определяет надежность и отказоустойчивость системы при возникновении перебоев с ВИЭ (плохая погода, отсутствие ветра и др.).

На современном этапе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) возникает задача внедрения в электросеть потребителя в рамках распределенной генерации энергии альтернативными источниками. В статье рассматривается задача разработки и исследования алгоритма распределения генерируемой мощности ВИЭ между потребителями в сети. С целью эффективного использования ресурса батарей, а также поддержания энергетического баланса в линии между потребителем и ВИЭ разрабатывается система управления аккумулярованием энергии [5, 6].

Моделирование системы распределения мощностей

Система, которая осуществляет контроль над всеми устройствами в распределенной сети энергоснабжения с целью рентабельной производительности в условиях существующих неопределенностей в работе возобновляемых источников энергии называется DEMS-системой [4]. Основная цель управления энергией в электрических сетях заключается в сбалансированном энергоснабжении и обеспечении экономически эффективного способа взаимодействия «сеть-потребитель».

Разрабатываемый алгоритм для DEMS-системы основан на принципе конечного автомата, который использует диаграммы состояний [4, 7]. Алгоритм обеспечивает поддержание оптимального баланса мощностей в системе и уровня заряда батарей каждого из потребителей на определенном уровне путем распределения нагрузки от потребителя.

Входные параметры алгоритма:

- ESS – команда на управление в автоматическом или ручном режиме;
- SOC – state-of-charge уровень заряда батареи, %;
- Load – текущее потребление в системе, кВт;
- PV – генерируемая мощность СП, кВт;
- WP – генерируемая мощность ВЭУ, кВт;
- Bp – мощность батарейного модуля, кВт;
- PostIN1, PostIN2 – сообщения от соседних потребителей;
- ConnectedLoadsMan – включение нагрузки в ручном режиме;
- Pin_Man, Pout_Man – управление подключением к сети в ручном режиме;
- Vbatcmd_Man – значение уставки в ручном режиме.

Выходные параметры алгоритма:

- Vbatcmd – команда на блок управления батареями;
- Ppost – команда состояния;
- Pin, Pout – управляющие команды;
- ConnectedLoads – ограничение нагрузки.

Алгоритм распределенной генерации включает три основных и несколько вложенных состояний. К основным состояниям относятся:

1) *Инициализация* – Initialization или IN. В данном состоянии определяются начальные условия работы системы распределения, т. е. начальное значение уставки для батарей (Vbatcmd:640 В), командные сообщения для оператора (Ppost: 0 – изолирован, 1 – необходимы дополнительные мощности, 2 – могу отдать электроэнергию в сеть), сообщения для коммутации (PiniPout: 0 – отключен, 1 – включен), сообщение для ограничения нагрузки (ConnectedLoads:0-4 – количество возможных одновременно подключенных потребителей).

2) *Ручной режим работы* – ManMode или MM. Управление непосредственно от заданий оператора.

3) *Автоматический режим работы* – EnergySupplySystem или ESS (рисунок 1). Режим работы, в котором программа стремится к поддержанию баланса мощностей и уровня заряда батарей в энергосистеме за счет регулирования напряжения DC/DC преобразователя в каждой шине «батарея – потребитель» непосредственного участника энергообмена.

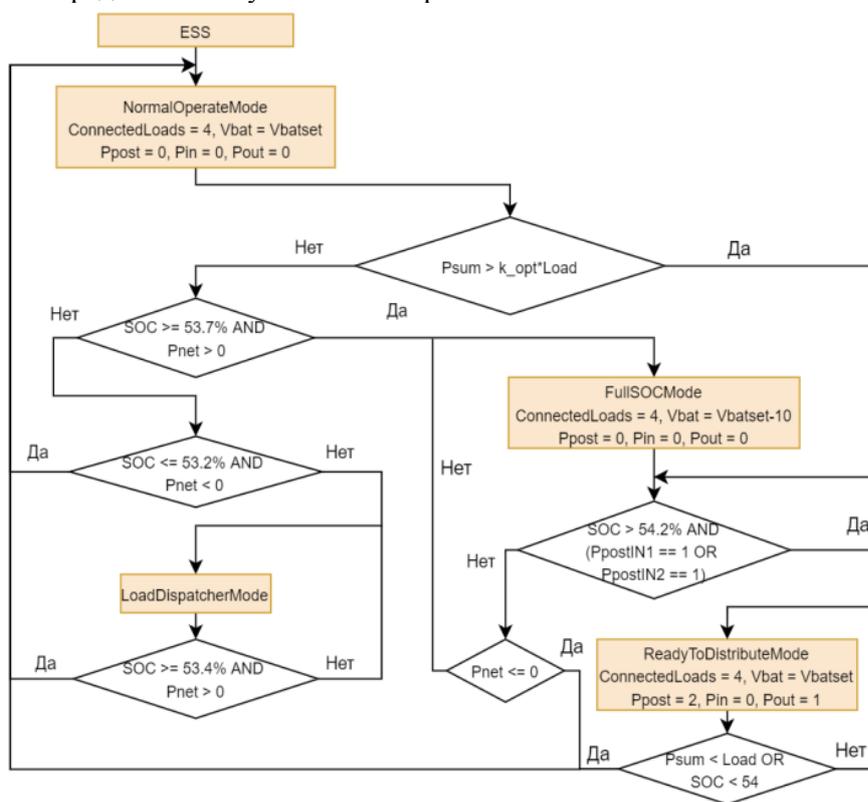


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма распределения энергии. «Автоматический» режим работы

Пояснения к рисунку 1. Состояние ESS включает ряд подсистем таких как:

- Нормальный режим работы (NormalOperateMode или NOM). Система работает в штатном режиме без распределения энергии, т. е. изолированно.
- Полный заряд батарей (FullSOCMode или FSM). Когда батарея считается заряженной, то система переходит к режиму ожидания сообщения от участников энергообмена на подключение к общей сети, чтобы поделиться ресурсом генерации.
- Режим готовности к отдаче энергии (ReadyDistributeMode или RDM). Когда заряд батарей выше определенного значения и, если общая мощность ВИЭ больше чем потребляемая мощность в 1.5 раза, то система дает команду на подключение потребителя к общей сети обмена. Если заряд

батарей падает или система не может обеспечить не только дополнительные, но и собственные нужды в энергии, то система переключается к режиму NOM.

– Режим распределения нагрузки – LoadDispatcherMode или LDM (рисунок 2). В случае когда заряд батарей продолжает снижаться, происходит переход к состоянию, когда система производит регулирование работы батарей и сообщает всем участникам энергообмена, что ей необходима дополнительная энергия. Если в сети имеется участник с лишней энергией, то происходит распределение энергии между ними. В противном случае система старается снизить потребление путем аварийного отключения нагрузки. Батарейный модуль переходит в режим Powerman (рисунок 3), в котором происходит регулирование данного блока путем ограничения (повышения или понижения) напряжения.

Регулирование уставки напряжения в линии потребления производится благодаря алгоритму приведенному на рисунке 3. Данный алгоритм позволяет регулировать напряжение в условиях, когда подключается дополнительный потребитель с большой мощностью [5].

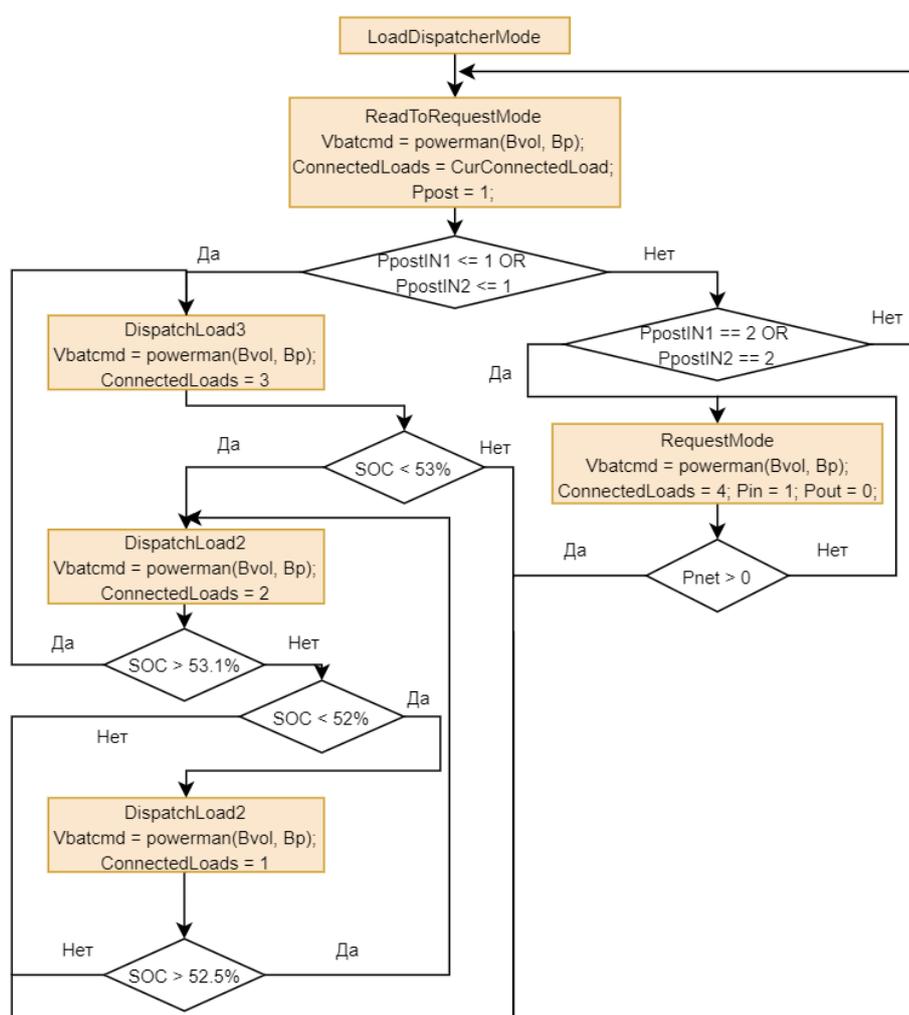


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма распределения энергии.
Режим уменьшения нагрузки

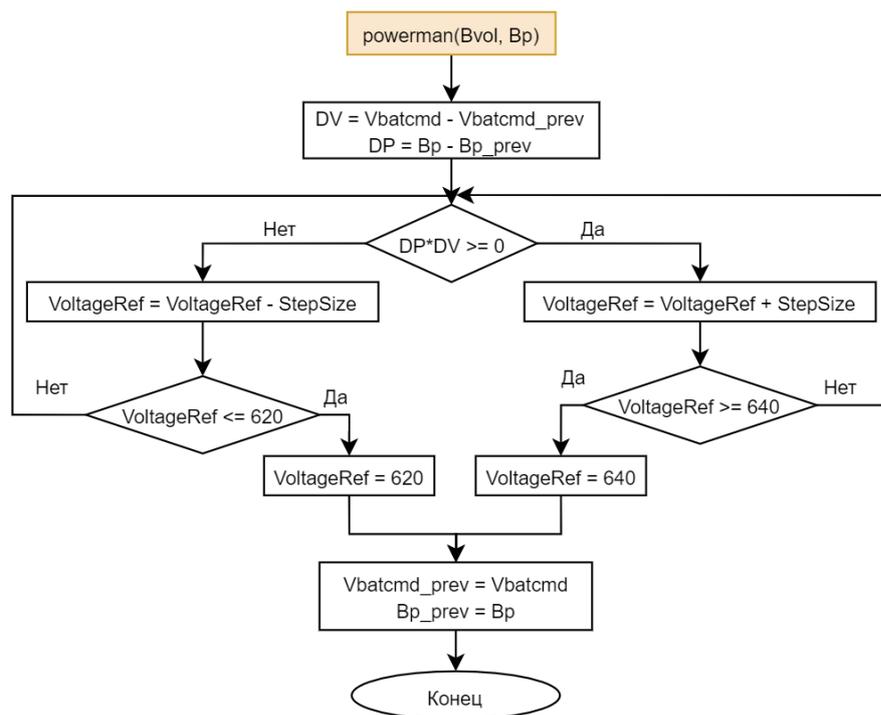


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма распределения энергии.
Функция регулирования уставки напряжения батарей

Результаты моделирования

Имитационные эксперименты проводились на разработанных в среде MatLab/Simulink составляющих системы энергоснабжения на базе ВИЭ (модель солнечной панели, ветроустановки, модуля работы батарей) [6]. Для реализации алгоритма использовался инструментальный Matlab/Stateflow, который позволил все алгоритмы объединить в единую иерархическую систему. Были выполнены имитационные эксперименты на традиционной модели и на модели с использованием распределенной DEMS-системы. Имитационные эксперименты проведены для случая, когда энергосеть содержит трех потребителей. Первый и третий потребители находятся в благоприятных условиях (высокий уровень заряда батарей, погодные условия позволяют генерировать большее количество электроэнергии, умеренное внутреннее потребление) и, наоборот, для второго потребителя – плохие погодные условия и большое внутреннее потребление. С учетом этого, система будет поддерживать баланс между потребителями в пользу второго участника.

На рисунках 4, 5 и 6 приведены результаты моделирования системы с отключенным (а) и подключенным алгоритмом (б) распределения энергии для первого, второго и третьего потребителя соответственно. Графики отражают основные показания батарейного модуля: выходная мощность (отрицательное значение в случае, когда батареи включены в цепь потребления и положительное значение, если идет процесс зарядки), а также уровень заряда батарей. Применение алгоритма управления и распределения энергии батарейного модуля позволяет более эффективно использовать ресурс энергохранилища (запрос на подзарядку от других участников сети и передача лишней накопленной энергии в общую сеть).

Из графика на рисунке 4б видно, что в момент времени от 0 до 2 с происходит подключение первого потребителя к общей сети и отдача энергии, т.е. уровень заряда батарей больше 54.2 %, и имеется запрос от оператора. Когда уровень заряда падает ниже 54 % (от 3 до 10 с) система отключается от общей сети и переходит в автономный режим работы (ресурс батарей расходуется на собственные нужды).

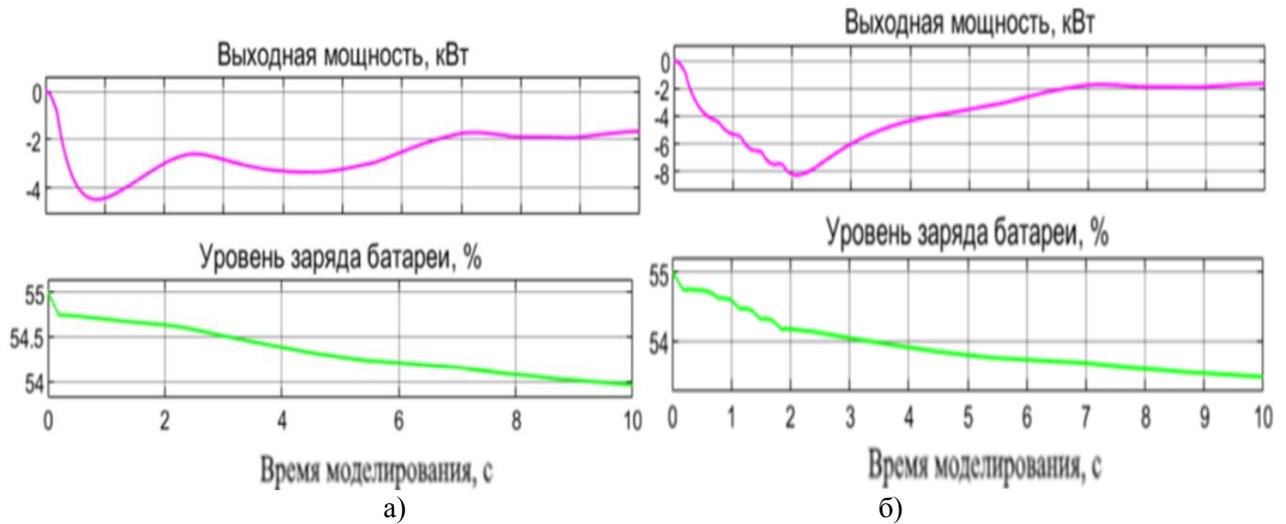


Рисунок 4 – Работа системы для первого потребителя
 а) с отключением алгоритма распределения энергии; б) с подключенным алгоритмом распределения энергии

На графике 5б видно, что в момент времени от 0 до 1 с происходит потребление энергии внутреннего энергохранилища. Как только другой потребитель сети подключается в общую сеть, происходит зарядка батарейного модуля до 53.6 % (от 1.5 до 6.5 с).

На графике 6б отражена такая же ситуация, как и с первым потребителем. В течение времени от 0 до 4с происходит подключение к общей сети (для поддержания второго потребителя) и, как следствие, расход ресурса батарей.

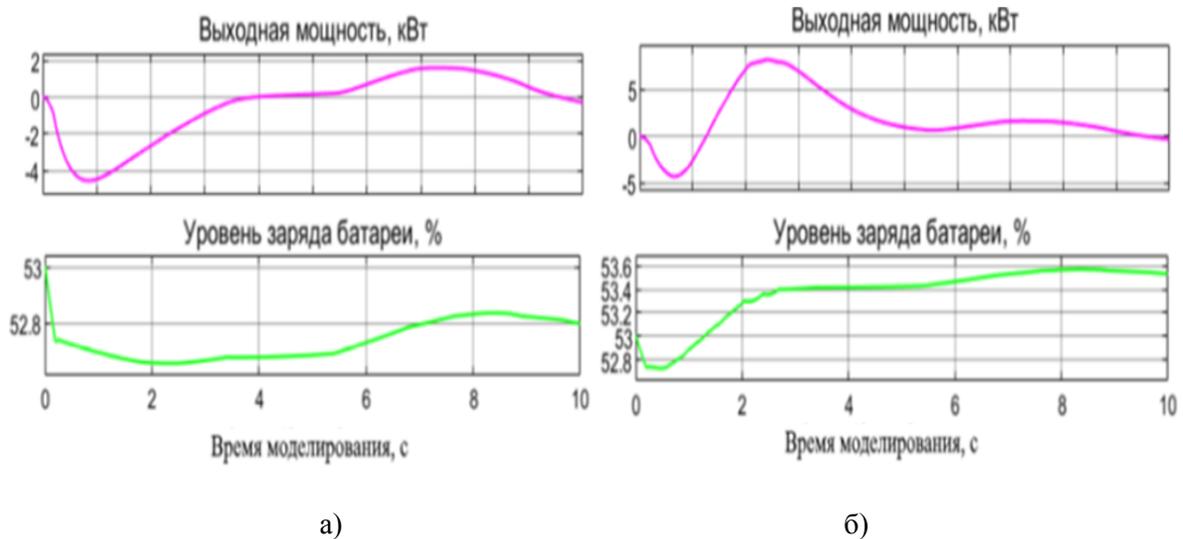


Рисунок 5 – Работа системы для второго потребителя
 а) с отключением алгоритма распределения энергии; б) с подключением алгоритма распределения энергии

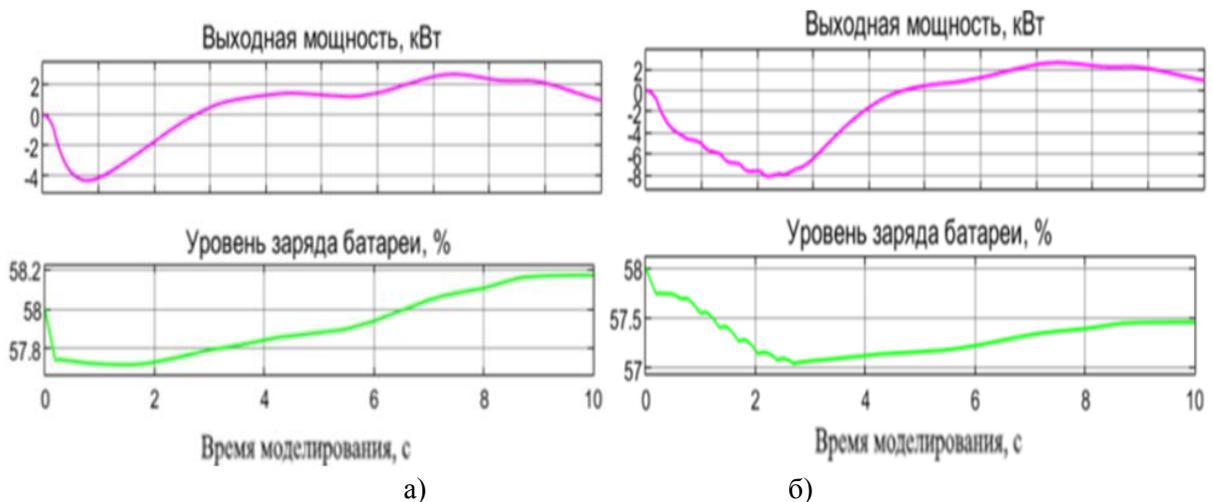


Рисунок 6 – Работа системы для третьего потребителя
 а) с отключением алгоритма распределения энергии; б) с подключением алгоритма распределения энергии

Выводы

Результаты моделирования алгоритмов распределения энергии позволяют сделать следующие выводы. В традиционной системе (рисунки 4а, 5 и 6а) при увеличении потребления или при малом количестве энергии от ВИЭ происходит нерациональная разрядка батарей. В зависимости от значения уровня заряда при начальных условиях происходит постепенный разряд батарей каждого из трех домов.

В соответствии с рассматриваемым алгоритмом распределения энергии (рисунки 4б, 5б и 6б) лишняя энергия распределяется между участниками единой энергосети в зависимости от уровня заряда батарей и потребностей, тем самым поддерживая баланс между потреблением и нагрузкой на батареи. Уровень заряда батарей может выступать качественным критерием работы алгоритма, т. к. этот показатель способен сыграть значительную роль при неблагоприятных погодных условиях, когда накопленная энергия в батареях позволит использовать ее как резервный источник питания или же отдать избыток энергии в сеть, тем самым распределив ее между потребителями.

Дальнейшие исследования будут продолжены в рамках разработки системы мониторинга системы распределенного энергоснабжения для оптимального распределения мощностей с учетом неопределенности ВИЭ и возмущающих факторов, таких, как погодные условия и изменяющаяся нагрузка потребителя с применением IoT технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайченко В.М., Цой А.Д., Штеренберг В.Я. Распределенное производство энергии. - М.: Букос, 2008.– 207 с.
2. Dimeas and N. Hatziargyriou A multiagent system for microgrids. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, 2004, No.1, – 55 - 58 p.
3. Сурков М.А., Лукутин Б.В. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.- М.: Интернет-журнал «Науковедение», 2012, №4. – 120 - 125 с.
4. K Himour, K Ghedamsi, EM Berkouk. Supervision and control of grid connected PV-Storage systems with the five level diode clamped inverter. Energy Conversion and Management, 2010, P.98-107.
5. S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche. A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system. Energy Policy, 2007.
6. Hui and A. Bakshai. Adaptive algorithm for fast maximum power point tracking in wind energy systems. IEEE IECON.- Orlando, USA: 2008, pp. 2119-2124.

7. Aida BO, Banaei MR, Sabahi M. Hybrid PV/wind system with quinary asymmetric inverter without increasing DC-link number. Ain Shams Engineering Journal, 2015, P. 579–592.

LIST OF REFERENCES

1. Zaichenko V.M., Tsoi A.D., Shterenberg V.Ya. Distributed energy production. - M.: Bukos, 2008 .– 207 p.
2. Dimeas and N. Hatziaargyriou A multiagent system for microgrids. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, 2004, No.1, – 55 - 58 p.
3. Surkov M.A., Lukutin B.V. World trends in the construction of autonomous power supply systems using renewable energy sources. - M.: Internet journal "Science of Science", 2012, No. 4. – 120 – 125 p.
4. K Himour, K Ghedamsi, EM Berkouk. Supervision and control of grid connected PV-Storage systems with the five level diode clamped inverter. Energy Conversion and Management, 2010, P.98-107.
5. S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche. A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system. Energy Policy, 2007.
6. Hui and A. Bakhshai. Adaptive algorithm for fast maximum power point tracking in wind energy systems. IEEE IECON.- Orlando, USA: 2008, pp. 2119-2124.
7. Aida BO, Banaei MR, Sabahi M. Hybrid PV/wind system with quinary asymmetric inverter without increasing DC-link number. Ain Shams Engineering Journal, 2015, P. 579–592.

ЖАҢҒЫРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЭНЕРГИЯМЕН ЖАБДЫҚТАУДЫҢ ТАРАТЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Л.К.Ибраева, Е.О.Карташов

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: s.khan@aues.kz

Аңдатпа Бұл мақалада жел және күн генерациясы негізінде энергиямен жабдықтаудың математикалық моделін әзірлеу және зерттеу ұсынылған. Тұтынушылар арасында қуат таралуын басқару алгоритмі сипатталған, ол тұтынушылардың толыққанды жұмыс істеуі үшін энергия сапасы мен мөлшерін қанағаттанарлық деңгейде сақтай отырып, өзгеріп отыратын ауа райы жағдайында (жел жылдамдығы мен күн энергиясы) жаңғыртылатын энергия көздерінен барынша қол жетімді энергия алуды білдіреді. Осы алгоритмге сәйкес тұтынушылар мен батареялық сақтау орындары арасындағы ауыстырып қосудың ең жақсы стратегиясының қолданылуынан жаңғыртылатын энергия көздерінің энергиясы неғұрлым тиімді пайдаланылады. Модельдеу және имитациялық зерттеу MATLAB/Simulink құралының көмегімен жүзеге асырылады. Энергияның таралу алгоритмі MATLAB/Stateflow ортасында іске асырылған.

Түйін сөздер жел генераторы, күн панелі, аккумуляторлық батареялар, MATLAB/Simulink, MATLAB/Stateflow.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A DISTRIBUTED ENERGY SUPPLY SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

L.K. Ibrayeva, E.O.Kartashov

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan
e-mail: s.khan@aes.kz

Annotation. Due to the rapid increase in the number of low-power power generation plants (wind generators, solar panels), as well as thermal energy (solar collectors, biomass), issues of integrating distributed generation in energy supply are becoming relevant at the moment. Distributed generation with the inclusion of renewable energy sources can provide low cost and high reliability of energy supply in areas where it is difficult to supply energy from a centralized network.

The development and study of a mathematical model of energy supply based on wind and solar generation is presented in the article. An algorithm for controlling the distribution of generation between consumers is described. It consists in extracting the maximum available energy from renewable energy sources in changing weather conditions (wind speed and solar energy) while maintaining the quality and quantity of energy at a satisfactory level, sufficient for the full functioning of consumers. According to this algorithm, the energy of renewable energy sources is used more efficiently due to a better switching strategy between consumers and battery storages. Modeling and simulation experiments are performed using the MATLAB / Simulink toolkit. The generation distribution algorithm is implemented in the MATLAB / Stateflow environment.

Keywords: wind turbine, solar panels, rechargeable battery, MATLAB/Simulink, MATLAB/Stateflow



ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И КОММУНИКАЦИОННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

МРНТИ 49.33.29

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 4G/5G ПРИ ОКАЗАНИИ УСЛУГ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

К.М. Туржанова*

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: karinaturzhanova@gmail.com

***Аннотация.** Технология Интернета Вещей (Internet of Things, IoT) является одним из важнейших направлений курса на цифровое развитие многих стран, поскольку представлена быстро развивающейся отраслью телекоммуникаций. Взрывной рост количества подключенных к интернету устройств и датчиков, расширение спектра их применения в производстве и межотраслевом взаимодействии порождает целый комплекс ожиданий от данной технологии. Неудивительно, что остро становится вопрос о подходах к измерению и оценке эффективности функционирования таких комплексных сетей. В данной статье представлен функциональный анализ основных и наиболее полных, на наш взгляд, подходов к оценке эффективности функционирования сетей мобильной связи 4G при реализации услуг Интернета вещей, а также предложены показатели, необходимые для оценки производительности мобильной сети совместно с технологией IoT.*

***Ключевые слова:** Интернет вещей, эффективность сети, производительность сети, технология NB-IoT, показатели сети.*

Введение

Постоянное формирование новых источников выручки и реализация бизнес-кейсов, основанных на появлении новых сервисов и совершенства уже используемых, повышает экономическую отдачу мобильных сетей четвертого и пятого поколения благодаря внедрению технологии IoT. Прогнозируемые перспективы развития технологии Интернета Вещей обуславливают огромный интерес как для поставщиков услуг IoT, так и для мобильных операторов. Планируемое в скором времени повсеместное внедрение стандарта сетей пятого поколения (5G) также вызывает особый интерес у главных игроков-провайдеров телекоммуникационного оборудования, стремящихся увеличить свою долю на рынке. Стандарт 5G позволяет подключение в десятки раз большего количества устройств (датчиков, сенсоров, терминалов) Интернета Вещей. В связи с этим, ожидания резкого роста числа автономных IoT устройств рисуют благоприятные перспективы для мобильных сетей, готовых к развертыванию технологии узкополосного интернета вещей (Narrow Band IoT, NB-IoT).

Однако, для соответствия перечисленным ожиданиям, реализуемая мобильная сеть совместно с технологией IoT, должна удовлетворять наиболее строгим критериям эффективности функционирования такой сети. Сложность оценки подобных мобильных сетей состоит в том, что в большинстве случаев крупные производители телекоммуникационного оборудования (например, Huawei, Ericsson, Nokia, Rohde&Schwarz), а также рабочие группы и ассоциации (MCЭ-T, ETSI, GTI TDD, IoTWF, IoT Analytics и т.д.) используют собственные, уникальные подходы к оценке эффективности функционирования мобильных сетей. Различия в подходах и методах оценки диктуются разными целями и задачами, стоящими перед организациями. Интересно, что при этом вопросам и особенностям оценки мобильной сети при реализации технологии NB-IoT посвящено небольшое количество работ и исследований. В этой статье приводится анализ таких подходов и

выбор ключевых показателей, описывающих эффективность функционирования сетей мобильной связи при оказании услуг Интернета Вещей.

1. Определение эффективности функционирования сети

Рассмотрение данного вопроса начинается с приведения дефиниций задействованных терминов, таких как «эффективность функционирования сети», «производительность сети» и «показатели» сети мобильной связи. Изучение терминологии является основополагающим моментом работы, поскольку позволит в дальнейшем перейти к более детальному анализу подходов, предложенных различными организациями, к изучению темы эффективности функционирования различных телекоммуникационных сетей.

Эффективность функционирования сетей мобильной связи характеризуется рядом технологических показателей, объединенных в единый **показатель производительности сети** (network performance, NP). В работах [1, 2] данный показатель также представлен как «*сетевые показатели качества*» и «*показатели работы сети*». Довольно часто при обсуждении производительности сетей, в рекомендациях и научных монографиях, встречаются такие понятия как «показатель» и «параметр». **Параметр** – количественная характеристика обслуживания с конкретной сферой применения и границами. Когда характеристики определены, они становятся параметрами и выражаются метриками, называемыми также «показатели». Параметры качества сети имеют огромное значение для всех операторов мобильных сетей и поддаются измерению в той части сети, к которой они применяются. В данном случае мы производим анализ эффективности функционирования на сети радиодоступа (Radio Access Network, RAN).

Международный союз электросвязи (МСЭ) в рекомендациях МСЭ-Т E.800 [1] и I.350 [5], посвященных качеству предоставляемых телекоммуникационных услуг и вопросам производительности цифровых сетей, предлагает следующее определение: «**Производительность сети** – возможность сети или части сети обеспечивать функции, относящиеся к связи между пользователями». Производительность сети исчисляется параметрами, которые являются значимыми для поставщика сети и используются для целей проектирования, настройки, эксплуатации и технического обслуживания систем. NP определяется независимо от терминала, его производительности и действий подключенного пользователя.

Таким образом, оперируя приведенными выше определениями и понятиями, мы приходим к выводу, что эффективность функционирования сетей мобильной связи 4G/5G при предоставлении услуг Интернета вещей должна, прежде всего, характеризоваться показателем производительности сети, включающим в себя набор ключевых сетевых характеристик и объективных количественных показателей, которые задают параметры качества связи и характеризуют полноту предоставляемой мобильными операторами услуг связи. Причем оценка таких показателей должна проводиться не на уровне одной базовой станции, а на уровне сети радиодоступа в целом.

2. Анализ подходов к оценке эффективности функционирования сетей

Среди организаций, разработавших свою методику оценки производительности сетей, можно выделить Ассоциацию GTI TDD, предложившую, на наш взгляд, наиболее комплексный подход к изучению показателей производительности сетей. В рабочем документе [3] исследовательская группа GTI TDD разделяет рабочие характеристики производительности сети NB-IoT на функциональные компоненты и связывает их с сетевыми характеристиками, определенными в ряде рекомендаций МСЭ [1, 2]. Основные параметры, характеризующие производительность сети, в соответствии с докладом GTI TDD [3], представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Подход к оценке эффективности сети, представленный Ассоциацией GTI TDD

Согласно данному подходу эффективность функционирования сетей мобильной связи 4G при оказании услуг связи оценивается с четырех позиций:

1. Показатели доступности сети (network availability performance), учитывающие доступность элемента в активном состоянии для выполнения требуемой функции в указанный промежуток времени, при условии, что при необходимости внешние ресурсы предоставлены.

2. Показатели работоспособности сети (network operability performance), отражающие способность сети выполнять заданные функции на протяжении указанного промежутка времени;

3. Группа показателей успешного подключения к сети (network severability performance), формирующаяся из вероятности того, что соединение может быть установлено в рамках определенных услуг и при других заданных условиях. Также определяется возможность получения услуги в рамках определенных допусков и других заданных условий при ее запросе пользователем. Эта группа включает в себя три подгруппы показателей: показатели доступа к сети, показатели сохранности сети (отсутствие обрывов во время соединения) и показатели целостности;

4. Показатели безопасности сети (network security performance), отвечающие за сохранение конфиденциальности, целостности и доступности информации методами обеспечения безопасности сети и предоставляемых услуг связи.

Все концепции производительности могут быть связаны с определенным моментом времени (мгновенным и т.д.) или выражаться как среднее значение за интервал времени. Свойства, выраженные этими показателями, влияют как на показатели качества обслуживания, так и на производительность сети и, таким образом, неявно характеризуют эти показатели производительности, поскольку представляется невозможным их разграничить. Стоит отметить, что также становится неясным, как меняется данный подход в случае развертывания технологии IoT и какие показатели должны учитываться при комплексной оценке эффективности функционирования таких сетей.

Интересный подход предложен производителями телекоммуникационного и измерительного оборудования. Так, международная электротехническая группа компаний Rohde & Schwarz считает, что «хотя NB-IoT и является дополнением к стандарту 3GPP для сети LTE, это решение представляет собой абсолютно новую систему радиосвязи, в том числе по характеристикам покрытия» [4]. Соответственно и оценка эффективности функционирования сети должна проводиться для узкополосной сети NB-IoT отдельно от мобильной сети 4G/LTE, в которую интегрирована технология NB-IoT. При этом, большее внимание следует уделять следующим показателям:

1. Показатели, отражающие покрытие сети NB-IoT;

2. Показатели обеспечения необходимого качества обслуживания (QoS) NB-IoT;

3. Ключевые показатели эффективности на уровне приложений, такие как показатель успешности, время настройки, время передачи, скорость передачи пользовательских данных и задержка;

4. Показатели производительности сети, такие как эффективность использования спектра, задержка, энергоэффективность, использование ресурсов и покрытие (нисходящего и восходящего каналов);

5. Показатели емкости сети NB-IoT.

Данный подход позволяет провести более тщательный анализ технологии NB-IoT, но лишь на основе ключевых показателей производительности сети (key performance indicator, KPI), которые могут быть индивидуально заданы каждым поставщиком оборудования (т. е. данные показатели не унифицированы), и преимущественно на уровне базовой станции, что не позволяет провести полную оценку эффективности функционирования данной технологии на уровне сетей.

Матричный подход

Вопросам оценки функционирования сети на примере определения основных параметров производительности сети также посвящена Рекомендация Международного союза электросвязи МСЭ-T I.350 [5]. Данная рекомендация описывает матричный подход к получению параметров производительности сети. Матрица размерностью 3×3 (рис. 2) позволяет применить систематический метод для идентификации и организации краткого набора основных параметров производительности сети.



Рисунок 2 – Матричный подход размерностью 3×3 для определение основных показателей производительности сети

Основные положения матрицы представлены ниже:

1. Каждая строка в матрице представляет собой одну из трех основных функций связи: функция предоставления доступа, функция передачи клиентской информации и функция разъединения.

2. Каждый столбец представляет собой один из трех взаимоисключающих результатов, возможных при попытке выполнения функции, и называется критерием производительности.

3. Параметры матрицы 3×3 определяются на основе событий на границах соединительных элементов и называются «первичными рабочими параметрами». «Производные эксплуатационные параметры» определяются на основе функциональной зависимости первичных эксплуатационных параметров, пороговых значений простоев и интервала наблюдения.

В результате применения матричного подхода, описанного выше, разработаны девять общих основных параметров, использующихся для анализа производительности коммерческой сети. Эти параметры рекомендуются к использованию при разработке конкретных параметров NP:

- скорость доступа;
- точность доступа;
- надежность доступа;
- скорость передачи информации;
- точность передачи информации;
- надежность передачи информации;
- скорость расцепления;
- точность расцепления;
- надежность разъединения.

Данный инструмент мы взяли как основу для сбора и оценки параметров производительности различных телекоммуникационных сетей. Простота и возможность быстрого определения набора показателей производительности несомненно выделяют этот подход. Таким образом, мы видим, что каждый из перечисленных подходов не лишен недостатков, что позволяет нам взять в разработку новый комплексный подход к оценке эффективности сетей 4G/5G.

3. Выбор показателей эффективности функционирования сетей

В ходе анализа рассмотренных ранее подходов к оценке эффективности функционирования сетей мобильной связи к наиболее весомым факторам, оказывающим наибольшее влияние на общую модель оценки эффективности функционирования сетей 4G и технологии NB-IoT, были отнесены следующие показатели (рис. 3):

1. Доступность сети;
2. Надежность сети;
3. Чувствительность к задержкам на сети;
4. Количество подключений NB-IoT и число устройств в сети LTE обслуживаемых с качеством не ниже заданного;
5. Уровень покрытия базовой станции (RSRP);
6. Допустимый уровень внутрисистемных помех (интерференция);
7. Клиентский опыт абонентов сети, а именно средние и пиковые значения скорости, объем трафика при использовании одинаковой полосы пропускания в зависимости от сценариев создания NB-IoT сети;
8. Энергосбережение, а также время автономной работы терминалов и устройств.
9. Стоимость создания сети (капитальные и операционные затраты).

Для выбора показателей эффективности и оценки их влияния на производительность сети в целом, рассмотрим бизнес-кейс с реализацией NB-IoT для услуг ЖКХ, а именно обеспечение подключения счетчиков измерения воды к технологии NB-IoT. Стандартные показатели для сервисной модели услуги измерения воды представлены и в таблице 1.

Таблица 1 – Сервисная модель услуг ЖКХ (счетчики измерения воды) для расчета производительности сети NB-IoT

Сценарий		Счетчики измерения воды
Сервисная модель (восходящий канал)	Количество/День	1
	Размер отчета (байт)	20
Сервисная модель (нисходящий канал)	Количество/День	1
	Распределение пользователей (на основе покрытия базовой станции)	5:3:2
Настойки сервисной модели в расчете на 1 БС	Оценка фактического распределения услуг в одной ячейке	150
	Максимальная емкость одной ячейки	80279
	Коэффициент потребления ресурсов	0.00186
	Количество ежедневных сообщений на ячейку	150
	Ежедневный трафик на ячейку (Мбит)	0.033

На рисунке 3 отображены диаграммы с примером сравнительной оценки эффективности функционирования автономной 4G сети и технологии NB-IoT на основе выбранных нами ранее показателей функционирования сети (таблица 2).

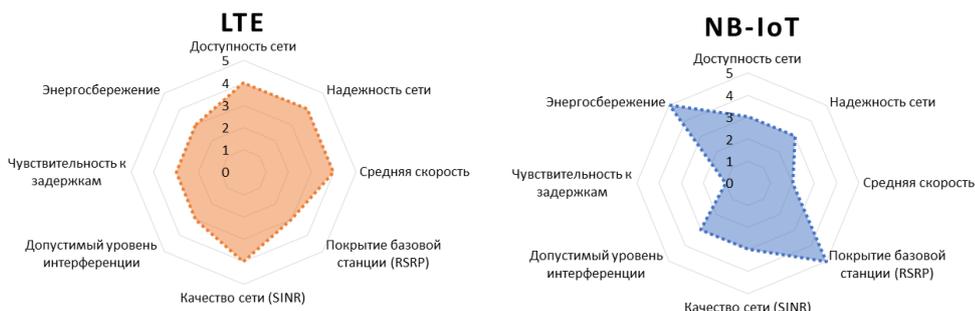


Рисунок 3 – Учитываемые факторы при оценке производительности технологии NB-IoT

Таблица 2 – Предлагаемые параметры для оценки эффективности функционирования мобильных сетей и NB-IoT технологии

Технология	LTE		NB-IoT	
	Оценка	Значения	Оценка	Значения
Доступность сети	4	99%	3	98%
Надежность сети	4	99%	3	98%
Средняя скорость	4	5 Мбит/с	2	50 кбит/с
Покрытие базовой станции (RSRP)	3	Оптимальное	5	Глубокое
Качество сети (SINR)	4	>0 дБ	3	>-8 дБ
Допустимый уровень интерференции	3	-117 дБм	3	-116.5 дБм
Чувствительность к задержкам	3	60-80 мс	1	5 с
Энергосбережение	3	14 часов @4000 мАч	5	10 лет@4800мАч

Аналогичный подход к выбору ключевых показателей, влияющих на функционирование сетей при оказании услуг Интернета Вещей, может быть приведен и для стандарта 5G. Практическое применение такой модели позволит оператором сотовых сетей использовать единый методический подход к оценке эффективности сети в зависимости от ряда факторов.

Заключение

Интернет вещей остается ключевым направлением быстроразвивающейся области телекоммуникаций в течение последних 10 лет. Особенно широкое распространение получил относительно недавно сертифицированный узкополосный Интернет вещей (NB-IoT). Небольшие операционные затраты, низкая стоимость датчиков, управляемость и надежность сети, предлагаемые операторам мобильной связи, способствуют широкому принятию и развертыванию данного стандарта.

На этом этапе развития рынка разработка и планирование правильной сетевой стратегии развертывания комплексной сети мобильной связи 4G/5G с оказанием услуг Интернета вещей играет решающую роль в прогнозировании возможных услуг и получении доходов. Как следствие, возросла необходимость в оценке эффективности работы сети совместно с технологией NB-IoT, как для научных целей, так и для целей развертывания. В этой статье мы привели результаты анализа различных систем оценки и текущих усилиях по созданию нового и эффективного моделирования NB-IoT, а также представили результаты по разработке модели на основе определения ключевых показателей производительности сети, которые легли в основу разрабатываемой нами многокритериальной модели оценки производительности сети при оказании услуг IoT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 3GPP TR 36.802, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); NB-IOT; Technical Report for BS and UE radio transmission and reception. V13.0.0, - 2016.
- [2] Тихвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С., Бабин А.И. Сети IoT/M2M: технологии, архитектура и приложения. М.: Издательский дом Медиа Паблшер, – 2017. – С. 320.
- [3] GTI IoT Network Performance Evaluation WhitePaper. Интернет-ресурс: http://ydgtx@ydgtx.dev.ftbj.net/zx_images/2.21/new/GTI%20IoT%20Network%20Performance%20Evaluation%20WhitePaper_v2.pdf
- [4] Приказ от 29 марта 2019 «Об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации». Интернет-ресурс: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6410/>
- [5] Recommendation I.350. General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs. Melbourne, 1998; revised Helsinki, ITU, - 1993.

REFERENCES

- [1] 3GPP TR 36.802, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); NB-IOT; Technical Report for BS and UE radio transmission and reception. V13.0.0, - 2016.
- [2] Tikhvinskiy V.O., Koval' V.A., Bochechka G.S., Babin A.I. Seti IoT / M2M: tekhnologii, arkhitektura i prilozheniya. M.: Izdatel'skiy dom Media Pabliher, - 2017. - S. 320.
- [3] GTI IoT Network Performance Evaluation WhitePaper. URL: http://ydgtx@ydgtx.dev.ftbj.net/zx_images/2.21/new/GTI%20IoT%20Network%20Performance%20Evaluation%20WhitePaper_v2.pdf
- [4] Prikaz ot 29 marta 2019 goda «Ob utverzhenii Kontseptsii postroyeniya i razvitiya uzkopolosnykh besprovodnykh setey svyazi» Internet veshchey »na territorii Rossiyskoy Federatsii». URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6410/>
- [5] Recommendation I.350. General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs. Melbourne, 1998; revised Helsinki, ITU, - 1993.

ANALYSIS OF APPROACHES AND IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR EVALUATING 4G/5G NETWORK EFFICIENCY IN CASE OF IOT USAGE

K.M. Turzhanova*

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan
e-mail: karinaturzhanova@gmail.com

Abstract. *Internet of Things (IoT) technology is one of the most important areas of the digital development path in many countries, as it is represented by the rapidly growing telecommunications industry. The explosive growth in the number of devices and sensors connected to the Internet, the expansion of the range of their application in production and intersectional interaction gives rise to a whole set of expectations from this technology. It is not surprising that the question of approaches to measuring and evaluating the performance of such integrated networks is becoming acute. In this article, a functional analysis of the main and most complete, in our opinion, approaches to assessing the effectiveness of the functioning of 4G mobile networks in the implementation of Internet of things services is presented. As well as the indicators necessary to assess the performance of a mobile network in conjunction with IoT technology are proposed.*

Key words: *Internet of things, network efficiency, network performance, NB-IoT technology, network metrics.*

ИНТЕРНЕТ ЗАТТАРЫ ҚЫЗМЕТІН КӨРСЕТУ КЕЗІНДЕ 4G/5G ҰТҚЫР БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ КӨРСЕТКІШТЕРІН ТАҢДАУ ЖӘНЕ ТӘСІЛДЕРІН ТАЛДАУ

К.М. Туржанова*

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: karinaturzhanova@gmail.com

***Аңдатпа.** Интернет заттары (Internet of Things IoT) технологиясы көптеген елдерде цифрлық даму жолының маңызды бағыттарының бірі болып табылады, өйткені оны тез дамып келе жатқан телекоммуникация саласы ұсынған. Интернетке қосылған құрылғылар мен сенсорлар санының қарқынды өсуі, олардың өндіріс пен сектораралық өзара әрекеттесуде қолданылу аясының кеңеюі осы технологиядан жаңалықтар күтеді. Осындай кешенді желілердің тиімділігін өлшеу және бағалау тәсілдері мәселесінің өткір болып тұрғаны таңқаларлық емес. Бұл мақалада Интернет қызметін көрсету кезінде 4G ұялы байланыс желілерінің қызмет тиімділігін бағалау жолдарына біздің көзқарасымыз тұрғысынан барынша толық және негізгі таладаулар ұсынылған, сондай-ақ IoT технологиясымен бірге ұялы байланыс өнімділігін бағалау үшін қажетті көрсеткіштер берілген.*

***Түйін сөздер:** заттар Интернеті, желінің тиімділігі, желінің өнімділігі, NB-IoT технологиясы, желінің көрсеткіштері.*



ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И КОММУНИКАЦИОННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

МРНТИ 49.33.29

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИОПОКРЫТИЯ И БАЛАНСИРОВКА НАГРУЗКИ В СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ 4 -ОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.В. Солощенко*

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: inferion_kz@inbox.ru

***Аннотация.** Отрасль телекоммуникаций ежегодно растёт. Увеличивается спрос пользователей на скорость, качество и охват территорий мобильной связью. Современные сети сотовой связи, по большей части, управляются практически вручную, а в настоящее время это дорого, трудоёмко и подвержено ошибкам из-за человеческого фактора на многих этапах управления сетью. Эта проблема частично решается внедрением инструментов самоорганизующихся сетей (SON). Результатом их работы должно стать повышение качества услуг связи (QoS), рациональное использование капитальных затрат (CAPEX) и операционных затрат (OPEX) операторов телекоммуникационных услуг. Зачастую, при внедрении модулей балансировки нагрузки в сеть пренебрегают показателем ослабления поля в различных средах распространения. Учитывая плотность застройки современных городов этот показатель крайне важен и должен определяться экспериментальным способом в условиях каждого города. Для решения данной проблемы представлена аналитическая поправка в алгоритм расчёта зависимости площади покрытия сектора базовой станции от угла наклона антенны с учётом показателя ослабления поля в различных средах. Это позволит улучшить клиентский опыт и качество радиопокрытия внутри помещений.*

***Ключевые слова:** самоорганизующиеся сети, балансировка нагрузки, самооптимизация, потери сигнала.*

Введение

Стратегия автоматизации процессов управления сетями мобильной связи реализована главным разработчиком Технических спецификаций мобильной связи поколений 3G, 4G и 5G Партнерским проектом 3GPP в технологической концепции применения самоорганизующихся сетей SON, охватывающих все этапы жизненного цикла этих сетей связи.

Пользователи услуг связи своими частыми перемещениями по зонам ответственности разных базовых станций делают нагрузку на сеть мобильного оператора не сбалансированной, следовательно, одна сота может быть перегружена, тогда как другая имеет гораздо меньший показатель утилизации ресурсов. Перегруженная сота сталкивается с нехваткой ресурсов, что влияет на доступ новых пользователей к услугам и на QoS активных пользователей. Дисбаланс нагрузки сильно ухудшает общую производительность сотовой сети ввиду неэффективного использования радио ресурсов. В решении данной проблемы и помогает модуль балансировки нагрузки из инструментов самоорганизующихся сетей. Модуль балансировки нагрузки получает данные от eNB о показателях утилизации ресурсов и работает на прогнозирование, обнаружение и устранение дисбаланса сетевой нагрузки путем изменения параметров сети, такими как угол наклона диаграммы направленности секторной антенны, выходная мощность передатчика и т. д. Из практического опыта работы в сфере телекоммуникаций выяснено, что показатель ослабления поля в различных средах распространения – крайне важная величина, которую необходимо учитывать при внедрении инструментов SON, в частности модуля балансировки нагрузки. В данной работе предложена аналитическая поправка в алгоритм расчёта зависимости площади покрытия сектора базовой станции от угла наклона антенны с учётом показателя ослабления поля в различных средах.

1. Механизм балансировки нагрузки

Нагрузка на соту измеряется с точки зрения использования различных ресурсов с учетом их возможных максимумов [3, 4].

Среди них:

1. Общая мощность передачи
2. Общая принимаемая мощность
3. Интерференция в соте
4. Пропускная способность соты в нисходящей/восходящей линиях связи
5. Увеличение количества блокировок при попытках получения услуг связи
6. Частота отказов при эстафетной передаче обслуживания между сотами

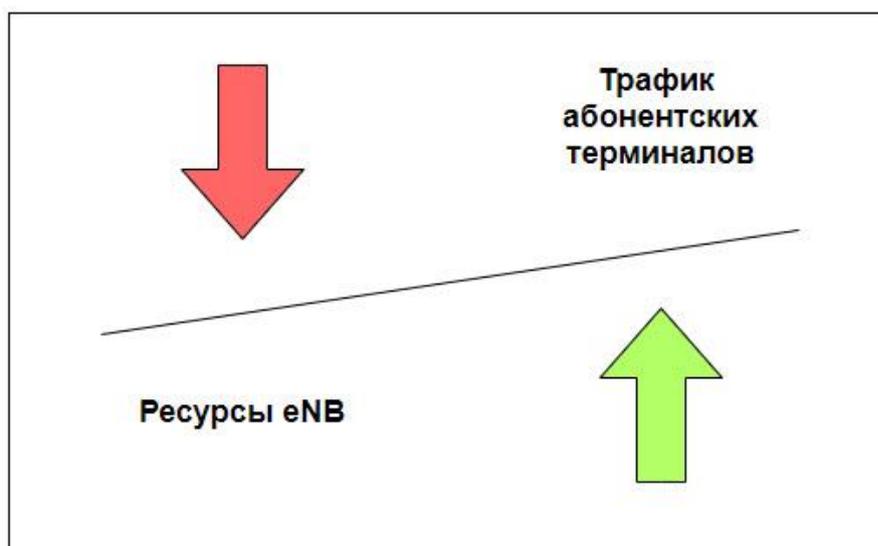


Рисунок 1 – Балансировка нагрузки

Методы балансировки нагрузки могут основываться на пользователях в режиме ожидания или в активном режиме.

1.1 Активный режим балансировки нагрузки

Активная балансировка нагрузки позволяет UE в активном режиме балансировать нагрузку между сотами, чтобы снизить общую перегрузку между ними. Преимущество активной балансировки нагрузки состоит в том, что система имеет механизм прямого измерения и знание о требовании к трафику каждого пользователя, а также его условия радиосвязи, прежде чем принять решение о балансировке нагрузки. Следовательно, с помощью планировщика и интерфейсов связи с другими базовыми станциями (интерфейс X2 для внутри-LTE и/или интерфейс S1 для меж-RAT) можно принимать точные решения для НО на основе нагрузки. Код причины «НО на основе нагрузки» включается во время обмена сообщениями о передаче обслуживания (НО), чтобы позволить целевой соте управлять доступом [1].

1.2 Балансировка нагрузки в режиме ожидания

Балансировка нагрузки в режиме ожидания затруднена, поскольку eNB не может обнаружить пользователей, когда их UE находятся в режиме ожидания. eNB узнает о пользователе только тогда, когда тот становится активным, или когда область отслеживания пользователя изменяется, и UE отправляет сообщение TAU (обновление области отслеживания). Возможность устранения данной проблемы состоит в том, что система должна настроить параметры повторного выбора соты для незанятых пользователей на основе текущего, активного радио условия пользователя, поскольку в LTE балансировка нагрузки между частотами в режиме ожидания контролируется процедурой повторного выбора соты.

Системные параметры, которые управляют повторным выбором соты, и частотные предпочтения канала оператора передаются в UE в блоках системной информации (SIB). Таким образом, поскольку трафик в реальном времени или требования QoS увеличиваются в соте, для неё было бы возможно отрегулировать параметры повторного выбора соты, чтобы заставить пользователей, ближайших к краю зоны обслуживания, выбрать соседнюю соту с лучшим уровнем радиосигнала или принудительно передать обслуживание соте, которая имеет больше доступных ресурсов.

Необходимо соблюдать осторожность, чтобы координировать такие настройки параметров между сотами (то есть используя интерфейс X2), чтобы предотвратить образование «белых» пятен в радиопокрытии, а также настроить параметры активного режима, чтобы избежать немедленной передачи обслуживания при переходе из режима ожидания в активный. Балансировка нагрузки в LTE часто является автономной функцией, и она моделируется как задача оптимизации при сопоставлении между пользователями и eNB в соответствии с различными метриками. Один из функциональных модулей LB постоянно контролирует нагрузку на сеть. При обнаружении неожиданных всплесков загрузки, вызванных внезапным ростом использования данных, оптимизируются либо настройкой параметров сети, либо избыточная нагрузка переносится с перегруженных eNB на соседние eNB со свободными ресурсами [2].

Оптимизация балансировки нагрузки состоит из ряда связанных функций. Одной из важных функций является адаптация функции конфигурации передачи обслуживания, позволяющая запрашивать изменение параметров передачи обслуживания и/или повторного выбора в целевой соте, как часть процедуры балансировки нагрузки. Если требуется изменение, исходная сота инициализирует процедуру согласования мобильности в направлении целевой соты. Это применимо как для случаев простоя, так и для случаев активной мобильности. Исходная сота информирует целевую о новых настройках мобильности и предоставляет причину изменения, такую как запрос, связанный с балансировкой нагрузки. Предлагаемое изменение выражается как разница (дельта) между текущим и новым значениями триггера передачи обслуживания [6, 7].

Триггер передачи обслуживания – это специфическое для соты смещение, которое соответствует порогу, при котором она инициализирует процедуру подготовки к передаче обслуживания. Конфигурация повторного выбора соты может быть изменена для отражения изменений в настройке передачи обслуживания. Целевая сота отвечает на информацию из исходной. Допустимый диапазон дельты для параметра запуска хэндовера может быть передан в сообщении ответа об ошибке. Исходная ячейка должна учитывать ответы перед выполнением запланированного изменения настроек мобильности. Все автоматические изменения параметров НО и/или повторного выбора должны быть в пределах диапазона, разрешенного O&M (центр управления и мониторинга) [3].

2. Потери уровня сигнала в линиях связи

Как в теоретических, так и в эмпирических исследованиях подтверждено, что принимаемая мощность изменяется по логарифмическому закону. Этот закон выполняется как для радиолиний вне зданий, так и внутри их. Средние потери при произвольном расстоянии излучатель-приемник описываются выражением:

$$\bar{L}(d) \approx \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (1)$$

Или в логарифмическом масштабе:

$$\bar{L} = \bar{L}(d_0) + 10n \cdot \lg \frac{d}{d_0}, \text{ дБ}, \quad (2)$$

где n – показатель степени, который показывает, с какой скоростью возрастают потери передачи от расстояния ;

d_0 – расстояние от излучателя до границы отсчета;

d – расстояние между излучателем и приемником.

Черта в (1), (2) означает среднее из возможных значений потерь для данного расстояния d . Показатель n зависит от конкретных параметров среды распространения.

Показатель n ослабления поля для различных условий распространения радиоволн
Таблица 1

Среда	Показатель n
Свободное пространство	2
Сотовая связь в городе	2.7 – 3.5
Сотовая связь в городе в тени	3 – 5
В зданиях при прямой видимости	1.6 – 1.8
При препятствиях на пути, в зданиях	4 – 6

Важно правильно выбрать подходящее расстояние d_0 для исследования условий распространения. В сотовой связи с большими зонами действия обычно используется расстояние 1 км, в микросотовых системах много меньше – 100 м. Это расстояние должно соответствовать дальней зоне антенны для исключения эффектов ближнего поля.

Уравнение (2) не учитывает того, что параметры среды могут быстро изменяться между измерениями. Измерения показали, что величина ослабления мощности в радиоканале описывается нормально – логарифмическим (равномерным в дБ) законом:

$$L(d) = \bar{L}(d) + X_\sigma = \bar{L}(d_0) + 10 \cdot n \cdot \lg \frac{d}{d_0} + X_\sigma, \text{ дБ}, \quad (3a)$$

и

$$P_r(d) = P_t(d) - L(d), \text{ дБ}, \quad (3b)$$

где X_σ – случайная величина с нормально-логарифмическим законом распределения со стандартной девиацией σ , дБ.

Данные формулы могут быть использованы для расчета поля в реальных системах связи при наличии случайных ослабляющих сигнал факторов. На практике величины n и σ обычно определяются из экспериментальных исследований [4].

3. Расчет зависимости площади покрытия сектора от угла наклона антенны

Зона покрытия БС представляет собой сложную фигуру, площадь которой возможно представить в виде суммы площадей сегментов S_i (треугольников), смотрите рисунок 2.

Очевидно, что общая площадь покрытия вычисляется как сумма сегментов площадей эквивалентных треугольников. Площади $\Delta OBC \approx \Delta OB'C'$, следовательно площадь сегмента S_i можно вычислить при известных значениях r_i , r_{i+a} и σ :

$$S_i = tg(\sigma) \left(\frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^2 \quad (4)$$

Устремляя угол $\sigma > 0$, можно получить S_i , с любой точностью.

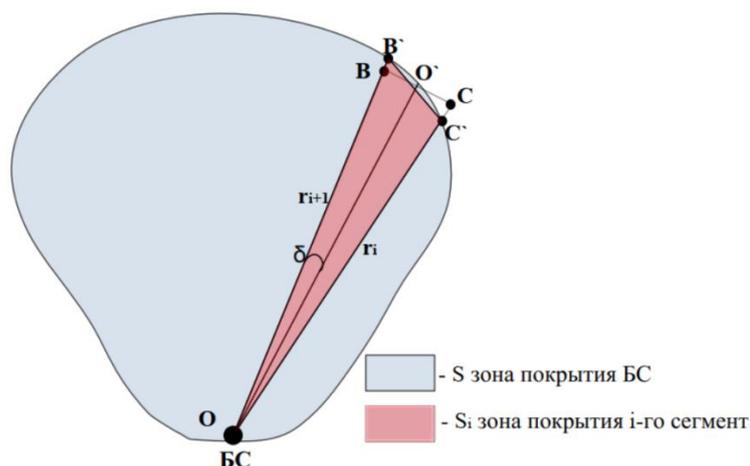


Рисунок 2 – Расчёт площади покрытия сектора

Определение «дальности связи»: для расчета используем общеизвестные эмпирические модели распространения радиоволн, применимые для анализа трасс распространения сигнала с учетом значительной застройки [5].

Зададимся допустимыми потерями распространения $L_{\text{доп}}$. В общем виде выражение для $L_{\text{доп}}$ будет иметь следующий вид:

$$L_{\text{доп}i} = P_{\text{изл}} - \varepsilon_{\text{пр}} + Ku_{\text{пр}i} + Ku_{\text{пер}i}, \quad (5)$$

где $P_{\text{изл}}$ – мощность излучения МА, $\varepsilon_{\text{пр}}$ – чувствительность приёмника БС, Ku_i – коэффициент усиления антенны передатчика/приемника. Индекс i характеризует направление от БС к МА или шаг сетки аппроксимации ДН. С другой стороны, для вычисления $L_{\text{доп}i}$ можно воспользоваться эмпирической формулой расчета, например моделью Хата:

$$L_{\text{доп}i} = 69,55 + 26,15 \cdot \lg(f) + 13,82 \cdot \lg(h_{\text{бс}}) - \alpha(h_{\text{ма}}) + (44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{\text{бс}}))\lg(r_i) \quad (6)$$

Из уравнения (6) можно выразить «дальность связи»:

$$r_i = 10^{\frac{L_{\text{доп}i} - 69,55 - 26,15 \cdot \lg(f) + 13,82 \cdot \lg(h_{\text{бс}}) + \alpha(h_{\text{ма}})}{(44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{\text{бс}}))}} \quad (7)$$

Заключение

Условия работы в сотовой радиосети варьируются в зависимости от потребностей абонентов, что может вызвать неожиданную загрузку определенных сетевых ресурсов при внезапном увеличении использования мобильных данных. Балансировка нагрузки выполняется для разгрузки избыточного трафика на слабо загруженные аналогичные элементы сети. Текущие процессы оптимизации балансировки нагрузки обрабатываются в большинстве случаев инженерами планирования сети в ручном режиме. Автоматический механизм балансировки нагрузки необходим для повышения эффективности и снижения эксплуатационных расходов. Самооптимизирующиеся сети повышают эффективность и качество обслуживания и в то же время снижают эксплуатационные расходы. Изменение параметров диаграммы направленности антенны, в свою очередь, является эффективным методом регулирования нагрузки в соте, при этом характер изменения вероятности блокировки напрямую зависит от параметров ДН и выставленного угла наклона секторной антенны. Предложенная аналитическая поправка поможет инструменту балансировки нагрузки вносить более точные коррективы в мощность и углы наклона антенн, что позволит улучшить качество покрытия внутри помещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [6] Lobinger, S. Stefanski, T. Jansen, and I. Balan, "Load balancing in downlink LTE self-optimizing networks," in proc. of 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), May 2010.;
- [7] Warabino, T.; Kaneko, S.; Nanba, S.; Kishi, Y., "Advanced load balancing in LTE/LTE-A cellular network," Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2012 IEEE 23rd International Symposium on, vol., no., pp.530,535, 9-12 Sept. 2012;
- [8] Atayero, Aderemi A., and Matthew K. Luka. "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Dynamic Load Balancing in 3GPP LTE." International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence 1.1 (2012): 11-16.
- [9] Anderson J.B., Rappaport T.S., Yoshida S. Propagation measurements and models for wireless communications channels. //IEEE Communications Magazine. 1994.
- [10] Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи: Дис. д-ра. техн. наук / МТУСИ. – М., 2005. – 351 с
- [11] Huang, M.N., Chen, J. "A conflict avoidance scheme between mobility load balancing and mobility robustness optimization in self-organizing networks" Wireless Networks 1 (2018): 271-281.
- [12] Summakieh, M.A., Tan C.K. , El-Saleh A.A. , Chuah T.C. "Improved load balancing for lte-a heterogeneous networks using particle swarm optimization" International Journal of Technology 7 (2019): 1407 – 1415.

REFERENCES

- [1] Lobinger, S. Stefanski, T. Jansen, and I. Balan, "Load balancing in downlink LTE self optimizing networks," in proc. of 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), May 2010.;
- [2] Warabino, T.; Kaneko, S.; Nanba, S.; Kishi, Y., "Advanced load balancing in LTE/LTE-A cellular network," Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2012 IEEE 23rd International Symposium on, vol., no., pp.530,535, 9-12 Sept. 2012;
- [3] Atayero, Aderemi A., and Matthew K. Luka. "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Dynamic Load Balancing in 3GPP LTE." International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence 1.1 (2012): 11-16.
- [4] Anderson J.B., Rappaport T.S., Yoshida S. Propagation measurements and models for wireless communications channels. //IEEE Communications Magazine. 1994.
- [5] Shorin O. A. Metody optimal'nogo raspredeleniya chastotno-vremennogo resursa v sistemah podvizhnoj radiosvyazi : Dis. d-ra. tekhn. nauk / MTUSI. – М.,2005. – 351 с
- [6] Huang, M.N., Chen, J. "A conflict avoidance scheme between mobility load balancing and mobility robustness optimization in self-organizing networks" Wireless Networks 1 (2018): 271-281.
- [7] Summakieh, M.A., Tan C.K. , El-Saleh A.A. , Chuah T.C. "Improved load balancing for lte-a heterogeneous networks using particle swarm optimization" International Journal of Technology 7 (2019): 1407 – 1415.

RADIO COVERAGE OPTIMIZATION AND LOAD BALANCING IN 4TH GENERATION CELLULAR NETWORKS

A.V. Solochshenko*

Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", Almaty, Kazakhstan
e-mail: inferion_kz@inbox.ru

Abstract. The telecommunications industry is growing every year. User demand for speed, quality and coverage of territories by mobile communication is increasing. Modern cellular networks, for the most part, are managed almost manually. It is expensive, time consuming and error prone due to the human factor at many stages of network management. This problem is partially solved by the introduction of self-organizing networking (SON) tools. The result of their work should be the improvement of the quality of communication services (QoS), the rational use of capital costs (CAPEX) and operating costs (OPEX) of telecommunication services operators. Often, when implementing load balancing modules in a network, engineers neglect the field weakening factor in various propagation media. Given the building density of modern cities, this indicator is extremely important and should be determined experimentally in each city. To solve this problem, we present an analytical correction in the algorithm for calculating the dependence of the coverage area of the base station sector on the angle of the antenna, taking into account the field attenuation in various media. This will improve the customer experience and the quality of indoor radio coverage.

Key words: Self-organizing networks, load balancing, self-optimization, signal loss.

4-ШІ БУЫННЫҢ ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ЖҮКТЕМЕНІ ТЕҢГЕРУ ЖӘНЕ РАДИО ЖАБУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

А.В. Солощенко*

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: inferion_kz@inbox.ru

Аңдатпа. Телекоммуникация саласы жыл сайын өсіп келеді. Пайдаланушылардың ұялы байланыс жылдамдығына, сапасына және аумақтардың қамтылуына сұранысы артып келеді. Қазіргі заманғы ұялы желілер, көбінесе қолмен басқарылады, ал қазіргі уақытта бұл қымбат, көп еңбектенуді қажет етеді және желіні басқарудың көптеген кезеңдерінде адами фактордың әсерінен қателіктерге ұшырайды. Бұл мәселе өзін-өзі ұйымдастыратын желілік (SON) құралдарды енгізу арқылы ішінара шешіледі. Олардың жұмысының нәтижесі байланыс қызметтерінің сапасын жақсарту (QoS), телекоммуникация қызметі операторларының күрделі шығындарын (CAPEX) және пайдалану шығындарын (OPEX) оңтайлы пайдалану болуы керек. Көбіне желіге жүктеме тепе-теңдігі модульдерін енгізу кезінде әртүрлі тарату орталарында өрістің әлсіреу индикаторы ескерілмейді. Қазіргі қалалардың құрылыс тығыздығын ескере отырып, бұл көрсеткіш өте маңызды және оны әрбір қала жағдайында тәжірибе жүзінде анықталуы тиіс. Бұл мәселені шешу үшін түрлі ортада өрістің әлсіреу көрсеткіштерін ескере отырып, антеннаның көлбеу бұрышынан базалық станцияның қамту аймағының аумағына байланысты есептеу алгоритміне аналитикалық түзету ұсынылаған. Бұл үй-жайлардың ішінде клиенттердің тәжірибесін радиожабулардың сапасын жақсартады.

Түйін сөздер: өзін-өзі ұйымдастыратын желілер, жүктемелерді теңестіру, өзін-өзі оңтайландыру, сигнал жоғалту.



ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И КОММУНИКАЦИОННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

IRSTI 29.35.03

DYNAMIC ANALYSIS OF A MODIFIED DUFFING OSCILLATOR

A. Murat*, A.K. Imanbayeva

IETP Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: murat.altynay@gmail.com

Annotation. In this article, we consider the detection of signals based on chaotic detectors, that is, systems with chaotic dynamics. The concept of chaos detection is based on the high sensitivity of several nonlinear systems with chaotic dynamics in a critical mode to indifferent weak harmonic signals to noise. We used the non-autonomous Duffing generator and its modifications as a chaotic generator, differing in the degrees of differential equations and in the method of inputting an external signal. It was found that the suppression generator is sensitive to changes in the amplitude of the signal from a chaotic to a large state of the cycle and is not sensitive to noise. Therefore, this function can be used to detect weak signals. The detection sensitivity of this method is higher than that of other methods for detecting weak signals. It also has higher throughput and costs using virtual instrument technology. A numerical model of the generator is presented in Matlab, which implements a system of differential equations for the chaos generator and in the LabVIEW environment.

Keywords: Duffing oscillator, chaos, nonlinear signals, weak signals, SNR, MatLab, LabVIEW.

Introduction

In recent years, the detection of weak signals has begun to grow rapidly. Weak signal detection is a new method in traditional signal detection technology that solves the problem of high thresholds of the input signal-to-noise ratio (SNR). It is difficult to detect weak signals during signal processing. Simple detection methods include low signal to noise ratio, limited detection accuracy, high implementation cost, etc. and has many similar limitations.

Based on chaos theory, the method of detecting weak signals is very effective due to its noise-resistant properties and sensitivity to signals of a special frequency. Chaotic oscillators can be used to detect weak signals since it is based on a sensitive dependence of the chaotic reaction on the initial values and parameters of the system. Many studies have shown that the generator is very sensitive to the input signal of the period but does not depend on noise. These characteristics make it possible to use a chaotic generator to detect a weak signal with high noise. Duffing Oscillator is a unique signal detection system that can pick up weak periodic signals from loud noise. In 1992, L.A. Donald and Bird first discovered a weak sinusoidal signal in a Gaussian noise using a chaotic oscillator [1]. Two hyper-chaotic variants were considered based on the Lorentz model for determining the weak signal [2]. V. Rashtchi and M. Nourazar Introduced a weak signal detector using the Duffing Oscillator in programmable field arrays (FPGA) to detect real-time weak signals in noise environment [3]. The main issue in using the Duffing oscillator to detect weak signals is the classification of chaotic and periodic states. Based on the chaotic oscillator, a method for weak signal detection using information fusion technology is proposed in paper [4].

In the article the system for detecting weak signals using a Duffing oscillator is considered. The Duffing equation was chosen because it is one of the classical nonlinear systems that have been carefully studied [5-7]. Despite extensive research on the Duffing generator and its simplicity, its dynamic behavior is extremely rich and research is still ongoing today. The parameters of the chaotic Duffing generator and its structural structure, which provide algorithms for determining the noise stability and chaotic generator state, is considered in the article. Study results were obtained using MatLab and LabView.

Evolution of chaotic motion in modified Duffing oscillator

Currently, chaotic models that detect weak signals are mainly the modified Duffing oscillator mode. This work uses the Duffing oscillator as a chaotic oscillator. His mathematical model is defined as follows [7]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cdot \cos(t) + \xi(t). \quad (1)$$

In Eq. (1) k is the attenuation coefficient, γ_c is amplitude of the critical mode transmitting signal; $\xi(t)$ is external signal (a combination of useful signal and noise in general).

We use a modified differential equation for the degree of variation of the generator in the following form:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x + x^3 + x^5 = \gamma_c \cdot \cos(t) + \xi(t). \quad (2)$$

Modification of the Duffing chaos generator by the method of signal input (parametric input) is as follows:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x + x^3 + (1 + \xi(t)) \cdot x^5 = \gamma_c \cdot \cos(t). \quad (3)$$

Thus, parametric input can also be used in other differential equations of degree $x(t)$. The characteristics of a chaotic generator do not change when the excitation signal is switched from a unit frequency to an arbitrary one. The formula for converting a differential equation to an arbitrary frequency is:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega^2} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{\omega} \frac{dx}{dt} - x + x^3 &= \gamma_c \cdot \cos(\omega t) + \xi(t), \\ \xi(t) &= a \cdot \cos \omega t + n(t). \end{aligned} \quad (4)$$

The main condition for the sensitivity of the duffed chaos generator to an external harmonic signal is the symphyses of the generator excitation signal. Indeed, in the case of symphyses, the input signal can be regarded as a positive effect that stops the amplitude of the excitatory signal which allows the generator to be critically de-energized. In the case of frequency and phase differences $\Delta\omega$ and ϕ , the amplitude of the amplitude-excited signal is converted to a time function [8]:

$$\begin{aligned} A(t) &= \gamma(t) \cdot \cos(\omega t + \theta(t)), \\ \gamma(t) &= \sqrt{\gamma_c^2 + 2\gamma_c \cdot a \cdot \cos(\Delta\omega t + \phi) + a^2}, \\ \theta(t) &= \text{arctg} \frac{a \cdot \sin(\Delta\omega + \phi)}{\gamma_c + a \cdot \cos(\Delta\omega + \phi)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Thus, the amplitude of the excitation signal is always less than critical when the chaotic oscillator stops operating at $\Delta\omega = 0$. That is, the phase shift ϕ must be between the following limits:

$$\pi - \arccos\left(\frac{a}{2\gamma_c}\right) \leq \phi \leq \pi + \arccos\left(\frac{a}{2\gamma_c}\right).$$

If there is a non-zero difference between the useful signal and the excitatory signal, the amplitude of the summation signal shall periodically exceed the critical value. The period of change of chaotic and periodic (laminar) parts of the chaotic generator output oscillations is $T = 2\pi / \Delta\omega$. Thus, the chaotic generator can be used not only to detect weak signals but also to evaluate the frequency of the receiving signal [9-10]. That is, increasing $\Delta\omega$ decreases the switching period, which reduces the idle time of the generator id and ultimately

causes the chaotic oscillator to stop working.

Results of a numerical experiment in MatLab

The main parameter determining the sensitivity of the chaotic generator to external signals is the critical value of the amplitude of the excitation signal γ_c which shifts the generator to an unstable equilibrium state. Theoretically, the chaotic generator's sensitivity to a weak input signal can be achieved by approximating the γ_c critical value of the amplitude of the excitation signal to the threshold of bifurcation. All the results presented in this section were obtained by modeling in MatLab which is widely used in scientific calculations.

The non-linear signal type and phase portrait of a Duffing chaotic generator with a shuffle factor $k = 2$ and a motor signal amplitude $\gamma_c = 7.5$ are shown in Figure 1.

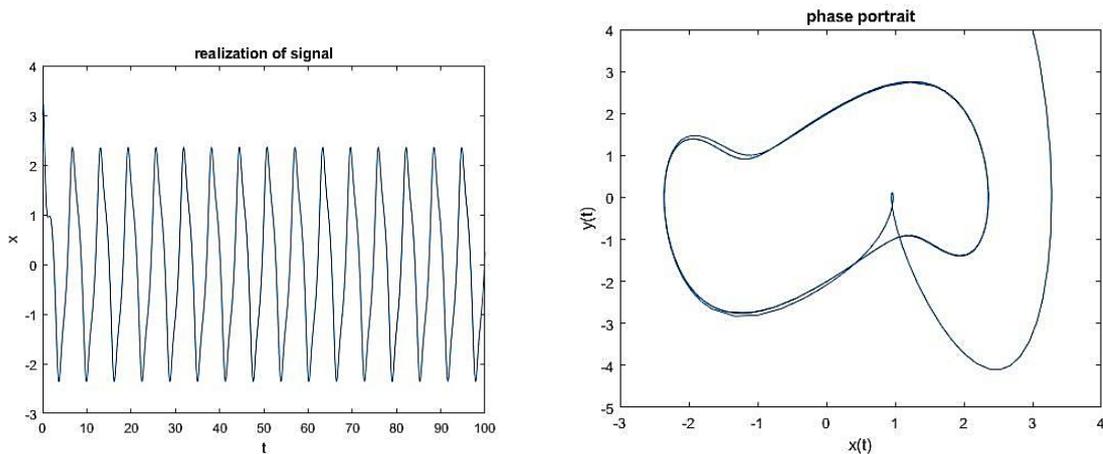


Figure 1 – Visualization of phase outputs and phase portraits in nonlinear dynamics at amplitude of excitatory signal $\gamma_c = 7.5$

Below we look at changes in output signals and phase portraits in nonlinear dynamics and in chaos with changing amplitude of the excitatory signal. In the second case, we get the amplitude of the excitation signal $\gamma_c = 7.5$ and $k = 0.05$ (Fig.2).

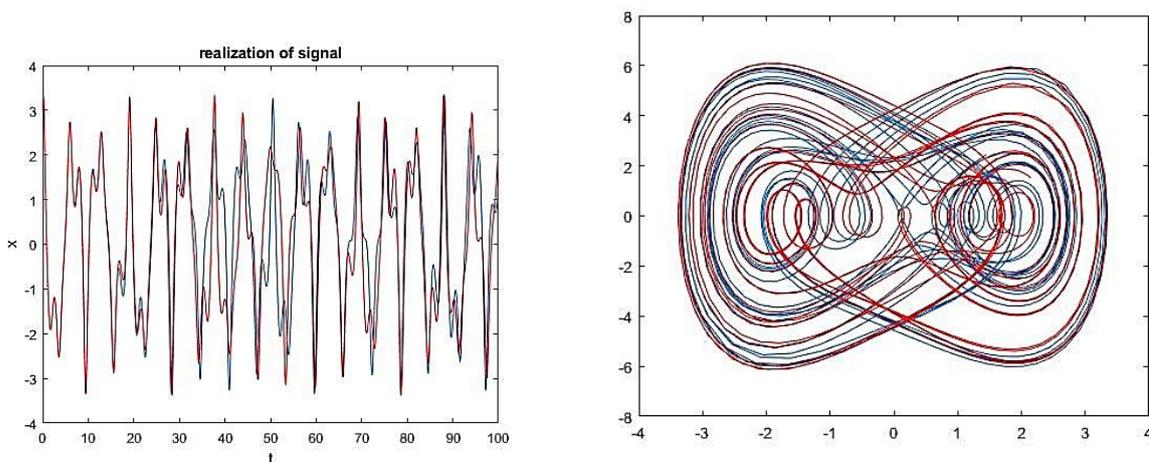


Figure 2 – Visualization of phase outputs and phase portraits in nonlinear dynamics at amplitude of excitatory signal $\gamma_c = 7.5$ and $k = 0.05$.

In practice, the approximation of the parameter γ_c to the bifurcation, a threshold is limited to the digit representation rank and the step of integrating the Duffing Chaos generator using the Rung-Kutta method

[8]. In most cases, the Melnikov function is used to calculate the area of γ_c . It determines the critical amplitude

$$\gamma_c \approx \frac{4 \cosh\left(\frac{\pi\omega}{2}\right)}{3\sqrt{2}\pi\omega}.$$

The chaotic oscillator's detection capability is determined by the chaos generator status identification method, which is often based on the functional state identifier algorithm.

Modelling of modified Duffing generator in LabVIEW

The LabVIEW 15.0 graphic design language is used to detect the chaotic dynamics of the modified Duffing oscillator. Here we solve Eq. (2) using the LabVIEW digital computing function and then the time and phase diagrams of this weak chaotic signal are propagated via a virtual device. LabVIEW has built-in front and rear panel software.

If we take $y = \dot{x}$ we get the following equation system

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = r * \cos(\omega t) - ky + x^3(t) - x^5(t). \end{cases}$$

A schematic diagram of the Duffing system study in Labview programming environment is shown in Figure 3. It contains the while loop, formula node, etc. items.

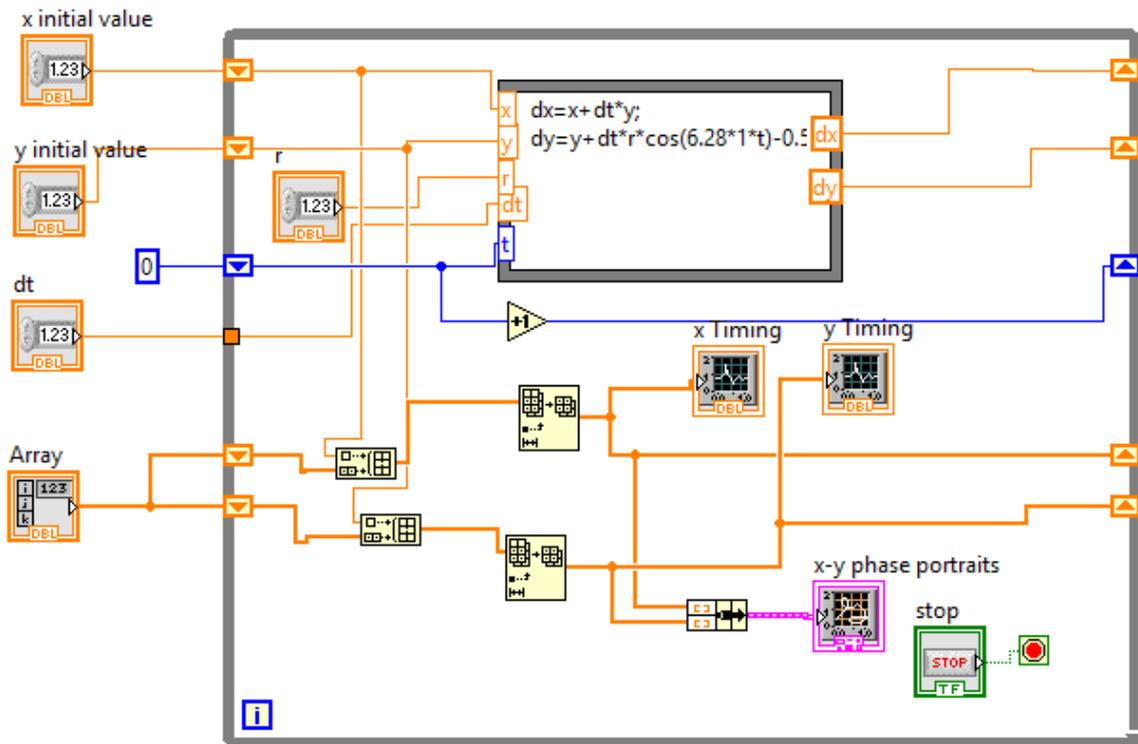
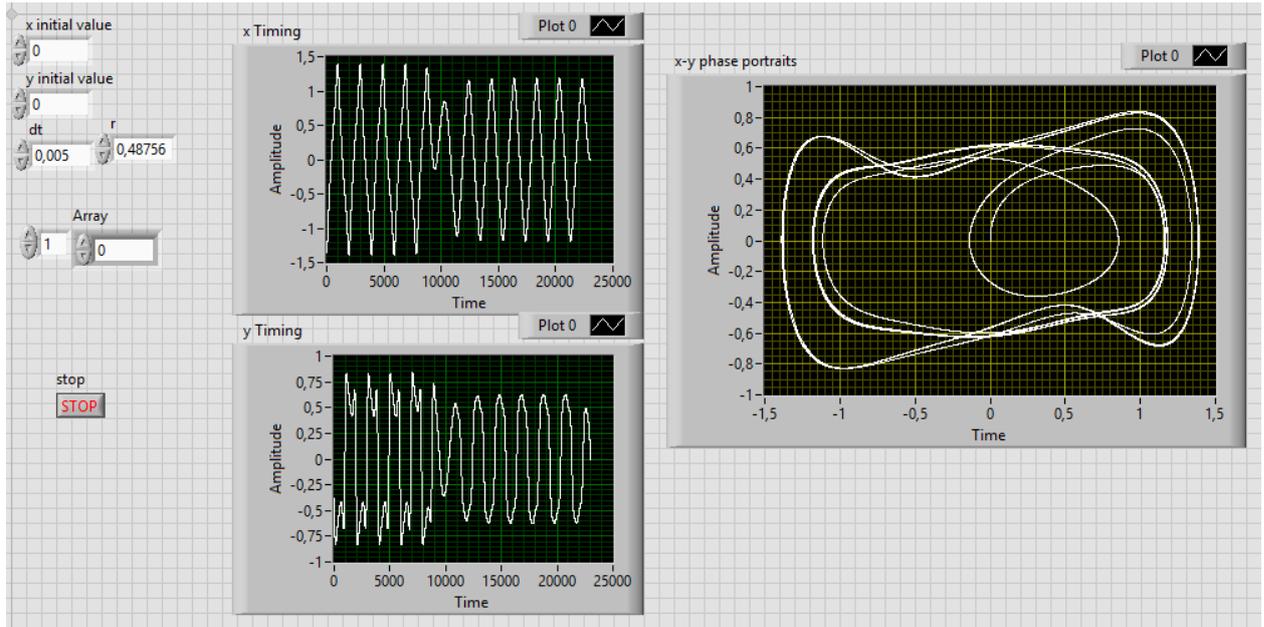
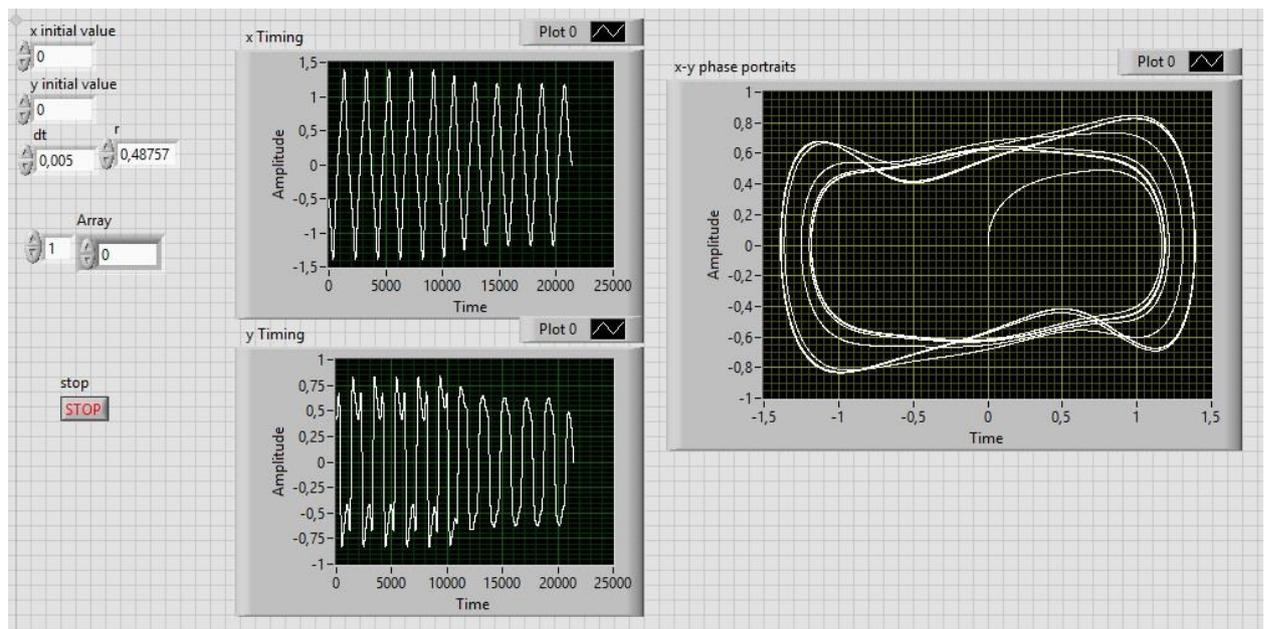


Figure 3 – Block diagram for determining the chaotic modes of the Duffing oscillator

If we take $k = 0.5$, $\omega = 1$ rad/s (Eq.(2)) and change the driving force amplitude r in the system than at any critical value $r = 0.487$ our system will shift from chaotic to periodic. We give the initial values of x , y , and the iteration step according to the dynamic properties of the Duffing oscillator and also change the amplitude. Then we obtain the x - y phase portrait, x and y time diagrams as shown in Figures 4 (a) and (b).



(a)



(b)

Figure 4 – Time diagrams and phase portraits at (a) $r = 0.48756$ V and (b) $r = 0.48757$ V

When you add a Gaussian white noise above 41 dB (Fig.5) to the detectable signal, the Duffing generator will switch back to the chaotic state. Thus, the Duffing Generator not only detects weak signals but also has very high noise resistance.

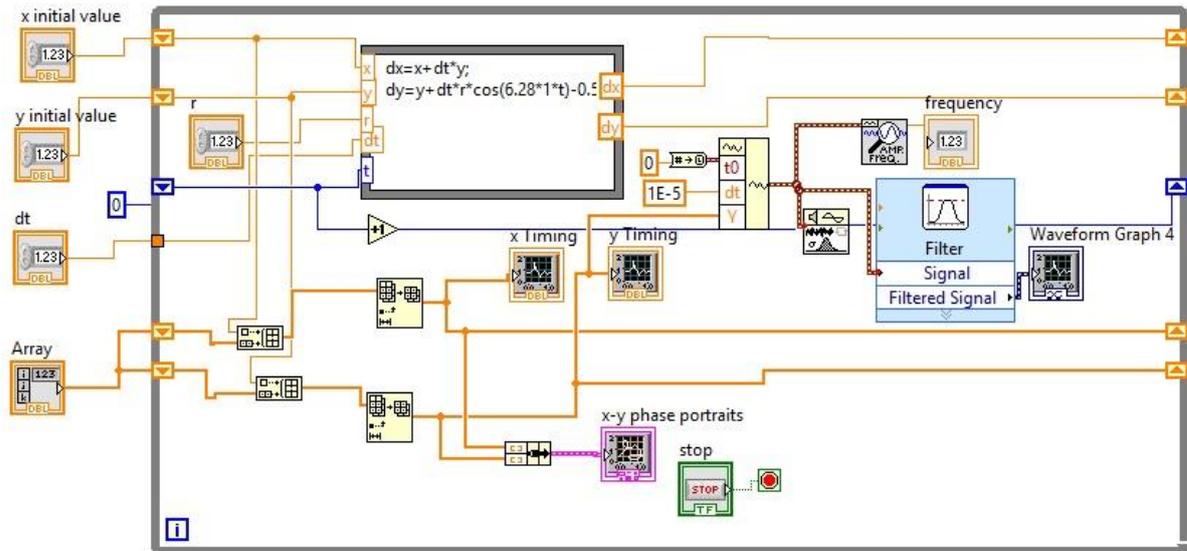


Figure 5 – Modified Duffing generator block diagram with added white noise

Given the efficiency and accuracy of signal detection, we used five digits after the decimal point. As mentioned above, at $r = 0.48757$, the Duffing generator shifts to a critical chaotic state with a signal amplitude of 0.00001 V and a signal-to-noise ratio

$$SNR = 10 \lg \frac{p_s}{p_n} = 10 \lg \frac{1}{2} \frac{A^2}{p_n} \approx 40 \text{ дБ.}$$

Conclusions

As a result, it was found that the Duffing Oscillator is sensitive to changes in signal amplitude, and not to noise, from chaotic to large cycle state. Therefore, this feature can be used to detect weak signals. The detection sensitivity of this method is higher than that of other weak signal detection methods, but it also has higher throughput and costs using virtual instrument technology.

LIST OF REFERENCES

- [1] Li Y., Yang B.J. Chaotic oscillator detection Introduction. – Beijing: Electronics Industry Press, 2004. – P.49-58.
- [2] Gokyildirim A., Uyaroglu Y., Pehlivan I. A Weak Signal Detection Application Based on Hyperchaotic Lorenz System //Tehnički vjesnik. – 2018. – Т. 25. – №. 3. – С. 701-708.
- [3] Rashtchi V., Nourazar M. FPGA implementation of a real-time weak signal detector using a duffing oscillator //Circuits, Systems, and Signal Processing. – 2015. – Т. 34. – №. 10. – С. 3101-3119.
- [4] Xiuqiao Xiang and Baochang Shib. Weak signal detection based on the information fusion and chaotic oscillator // Chaos. – 2010. – Vol.20. – P.013104.
- [5] Wang G., Chen D., Lin J. and Chen X. The application of chaotic oscillators to weak signal detection //IEEE Transaction on Industrial Electrons. – 1999. – Vol. 46, No. 2. – P.440-444.
- [6] Ваврив, Д.М., Шигимага, Д.В. Хаос в осцилляторе Дуффинга с высокочастотным и низкочастотным внешним воздействием //Радиофизика и радиоастрономия. – 2000. – Т. 5, № 3. – С.256-264.
- [7] Hu N.Q. and Wen, X.S. The application of Duffing oscillator in characteristic signal detection of early fault //Journal of Sound and Vibration. – 2003. – Vol. 268. – P.917-948.
- [8] Wang, G., Chen, D., Lin, J., Chen, X., The application of chaotic oscillators to weak signal detection //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 1999. – Vol.46, No. 2. – P.440-444.
- [9] Imanbayeva A.K., Syzdykova R.N. and Temirbayev A.A. Concept formulation and university teaching methodology for dynamic chaos //IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – Vol.1136. – Art. No 012029 (11p.).

[10] Ditto W.L. and Sinha S. Exploiting chaos for applications //Chaos. – 2015. – Vol.25 – Art. No 097615.

LIST OF REFERENCES

[11] Li Y., Yang B.J. Chaotic oscillator detection Introduction. – Beijing: Electronics Industry Press, 2004. – P.49-58.

[12] Gokyildirim A., Uyaroglu Y., Pehlivan I. A Weak Signal Detection Application Based on Hyperchaotic Lorenz System //Tehnički vjesnik. – 2018. – Т. 25. – №. 3. – С. 701-708.

[13] Rashtchi V., Nourazar M. FPGA implementation of a real-time weak signal detector using a duffing oscillator //Circuits, Systems, and Signal Processing. – 2015. – Т. 34. – №. 10. – С. 3101-3119.

[14] Xiuqiao Xiang and Baochang Shib. Weak signal detection based on the information fusion and chaotic oscillator // Chaos. – 2010. – Vol.20. – P.013104.

[15] Wang G., Chen D., Lin J. and Chen X. The application of chaotic oscillators to weak signal detection //IEEE Transaction on Industrial Electrons. – 1999. – Vol. 46, No. 2. – P.440-444.

[16] Vavriy, D.M., Shigimaga, D.V. Khaos v ostsillyatore Duffinga s vysokochastotnym i nizkochastotnym vneshnim vozdeystviyem //Radiofizika i radioastronomiya. – 2000. – Т. 5, № 3. – S.256-264. (in Russ).

[17] Hu N.Q. and Wen, X.S. The application of Duffing oscillator in characteristic signal detection of early fault //Journal of Sound and Vibration. – 2003. – Vol. 268. – P.917-948.

[18] Wang, G., Chen, D., Lin, J., Chen, X., The application of chaotic oscillators to weak signal detection //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 1999. – Vol.46, No. 2. – P.440-444.

[19] Imanbayeva A.K., Syzdykova R.N. and Temirbayev A.A. Concept formulation and university teaching methodology for dynamic chaos //IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – Vol.1136. – Art. No 012029 (11p.).

[20] Ditto W.L. and Sinha S. Exploiting chaos for applications //Chaos. – 2015. – Vol.25 – Art. No 097615.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА ДУФФИНГА

А. Мурат*, А.К. Иманбаева

НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
e-mail: akmaral@physics.kz

Аннотация. В статье рассмотрен один из методов обнаружения слабых сигналов на основе хаотических детекторов, то есть систем с хаотической динамикой. Концепция обнаружения хаотических сигналов основана на высокой чувствительности ряда нелинейных систем с хаотической динамикой в критическом режиме к индифферентным слабым гармоническим сигналам и к шуму. Использован неавтономный генератор Дуффинга и его модификации в качестве хаотического генератора, различающегося степенями дифференциальных уравнений и способом ввода внешнего сигнала. Было обнаружено, что генератор чувствителен к изменениям амплитуды сигнала от хаотического к большому состоянию цикла и не чувствителен к шуму. Поэтому эту систему можно использовать для обнаружения слабых сигналов. Чувствительность обнаружения этого метода выше, чем у других методов обнаружения слабых сигналов, но также имеет более высокую пропускную способность и затраты с использованием технологии виртуальных инструментов. Численная модель генератора представлена в Matlab, которая реализует систему дифференциальных уравнений для генератора хаоса и в среде LabVIEW.

Ключевые слова: осциллятор Дуффинга, хаос, слабые сигналы, отношение сигнал/шум, SNR, MatLab, LabView.

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ДУФФИНГ ОСЦИЛЛЯТОРЫН ДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

А. Мұрат*, А.К. Иманбаева

ЭТФҒЗИ, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Аламаты қ., Қазақстан
e-mail: akmaral@physics.kz

***Аңдатпа** Мақалада хаотикалық детекторларға негізделген, яғни хаотикалық динамикасы бар жүйелер, әлсіз сигналдарды анықтау әдістерінің бірі қарастырылған. Хаостық сигналдарды анықтау тұжырымдамасы әлсіз гармоникалық сигналдар мен шуларға бейтарап динамикалық бірнеше сызықты емес жүйелердің сыни режимдегі жоғары сезімталдығына негізделген. Автономды емес Дуффинг генераторы және оның модификациялары дифференциалдық теңдеулер дәрежесінде және сыртқы сигналды енгізу әдісінде ерекшеленетін хаостық генератор ретінде қолданылады. Хаостық циклдің үлкен күйіне дейінгі сигнал амплитудасының өзгеруіне генератордың сезімтал екендігі және шуылға сезімтал емес екендігі анықталды. Сондықтан бұл жүйені әлсіз сигналдарды анықтау үшін қолдануға болады. Бұл әдісті анықтау сезімталдығы әлсіз сигналдарды анықтауға арналған басқа әдістерге қарағанда жоғары, бірақ сонымен бірге виртуалды құрал технологиясын қолдану арқылы өткізу қабілеті мен құны жоғары. Генератордың сандық моделі хаос генераторы дифференциалдық теңдеулер жүйесін жүзеге асыратын Matlab мен LabVIEW ортасында ұсынылған.*

***Түйін сөздер:** Дуффинг осцилляторы, хаос, әлсіз сигналдар, сигнал/шуыл қатынасы, SNR, MatLab, LabView.*



КОСМИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И РОБОТОТЕХНИКА

МРНТИ 89.23.31

ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СПУТНИКОВ И БПЛА

А.С. Сухенко^{1,*}, Т.М. Бопеев¹, Д.Л. Шаповалова¹, А.Е. Фоменко¹, С.А. Елубаев²

¹Институт космической техники и технологий, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль – Фараби, г. Алматы, Казахстан
e-mail: sukhenko.a@istt.kz, yelubayev.s@istt.kz, anysergeevna@gmail.com

Аннотация. Решение задачи разработки программно-математического обеспечения комплекса для наземной отработки системы ориентации спутников и БПЛА рассматривается в статье. Данный комплекс разработан на базе карданного подвеса и имитирует движение летательного аппарата с тремя степенями свободы. Для проведения испытаний системы ориентации летательного аппарата и оценки качества ее работы программно-математическое обеспечение комплекса должно обеспечивать возможность задавать команду на требуемый поворот летательного аппарата. Так же программно-математическое обеспечение комплекса должно определять текущее угловое положение летательного аппарата с точностью, соответствующей точности испытываемой системы ориентации летательного аппарата, визуализировать процесс испытаний. Кроме того, ввиду особенностей технической реализации комплекса его программно-математическое обеспечение должно обеспечивать устранение погрешности от влияния трения в подшипниках карданного подвеса. Описанные задачи в рамках данной работы решаются за счет введения дополнительного аппаратного обеспечения и соответствующего программного обеспечения для оценки углового положения летательного аппарата, реализации методов устранения погрешности от влияния трения.

Ключевые слова: программно-математическое обеспечение, наземные испытания, система ориентации, спутник, БПЛА.

Анализ текущего состояния в области разработки испытательных стендов и комплексов для систем ориентации спутников и БПЛА показывает, что программно-математическое обеспечение (ПМО) таких комплексов решает следующие задачи: формирование команды на поворот испытываемого летательного аппарата (ЛА) на комплексе, определение текущего углового положения ЛА на комплексе с точностью, соответствующей точности испытываемой системы ориентации ЛА, обработка и визуализация данных о текущем угловом положении ЛА на комплексе.

Формирование команды на требуемый поворот, а также обработка и визуализация данных о текущем угловом положении ЛА как правило производится в программном обеспечении (ПО) комплекса, устанавливаемом на персональном компьютере, далее эта команда передается на испытываемый ЛА, находящийся на комплексе [1]. Для определения текущего углового положения ЛА на комплексе используются различные датчики и ПО обработки данных этих датчиков. В частности, разработчики стендов и комплексов используют для определения углового положения алгоритмы на базе фильтра Калмана для обработки данных трехосных акселерометров и гироскопических датчиков [2], алгоритмы на базе обработки изображений и видео для данных с системы цифровых камер [3], прямые измерения с потенциометров [4].

Целью данной работы является разработка ПМО комплекса для наземной отработки системы ориентации спутников и БПЛА, который разработан на базе карданного подвеса и имитирует движение летательного аппарата с тремя степенями свободы (рисунок 1). Для функционирования ЛА

на комплексе в процессе испытаний предусмотрена специальная платформа, оснащенная автономным модулем питания, беспроводным приемо-передатчиком и бортовым устройством управления для обработки данных и команд. Задание команды на требуемый поворот ЛА и визуализация результатов испытаний производится на персональном компьютере в системе управления комплекса. Передача команды на ЛА осуществляется по беспроводному каналу связи. Определение текущего углового положения ЛА на комплексе производится на базе измерений трех датчиков, расположенных на платформе - трехосного акселерометра, гироскопического датчика, магнитного датчика. Ожидается, что введение третьего датчика и разработка соответствующего ПО обработки данных этих датчиков без привлечения сложных алгоритмических особенностей фильтра Калмана и подобных ему фильтров позволит производить оценку углов поворотов ЛА вокруг трех осей с точностью не хуже точности тестируемой системы ориентации ЛА. Кроме того, ввиду особенностей технической реализации комплекса в его ПМО должна быть предусмотрена возможность устранения погрешности ориентации ЛА на комплексе за счет влияния трения в подшипниках карданного подвеса.

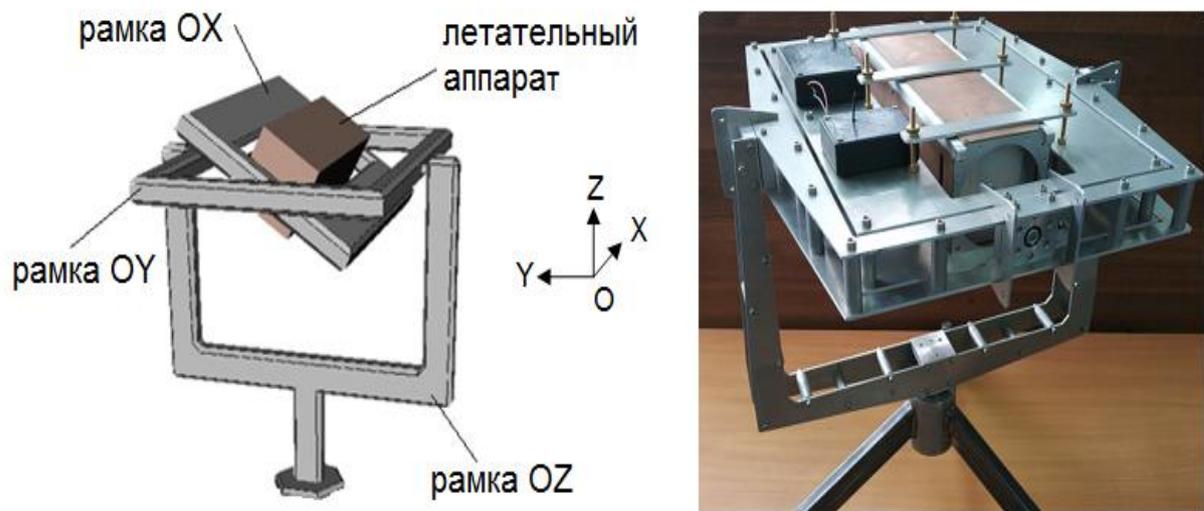


Рисунок 1 – Внешний вид комплекса

Приведем более подробное описание программно–математического обеспечения комплекса. Программное обеспечение комплекса включает программные компоненты бортового устройства управления платформой системы ориентации и системы управления комплекса (рисунок 2).

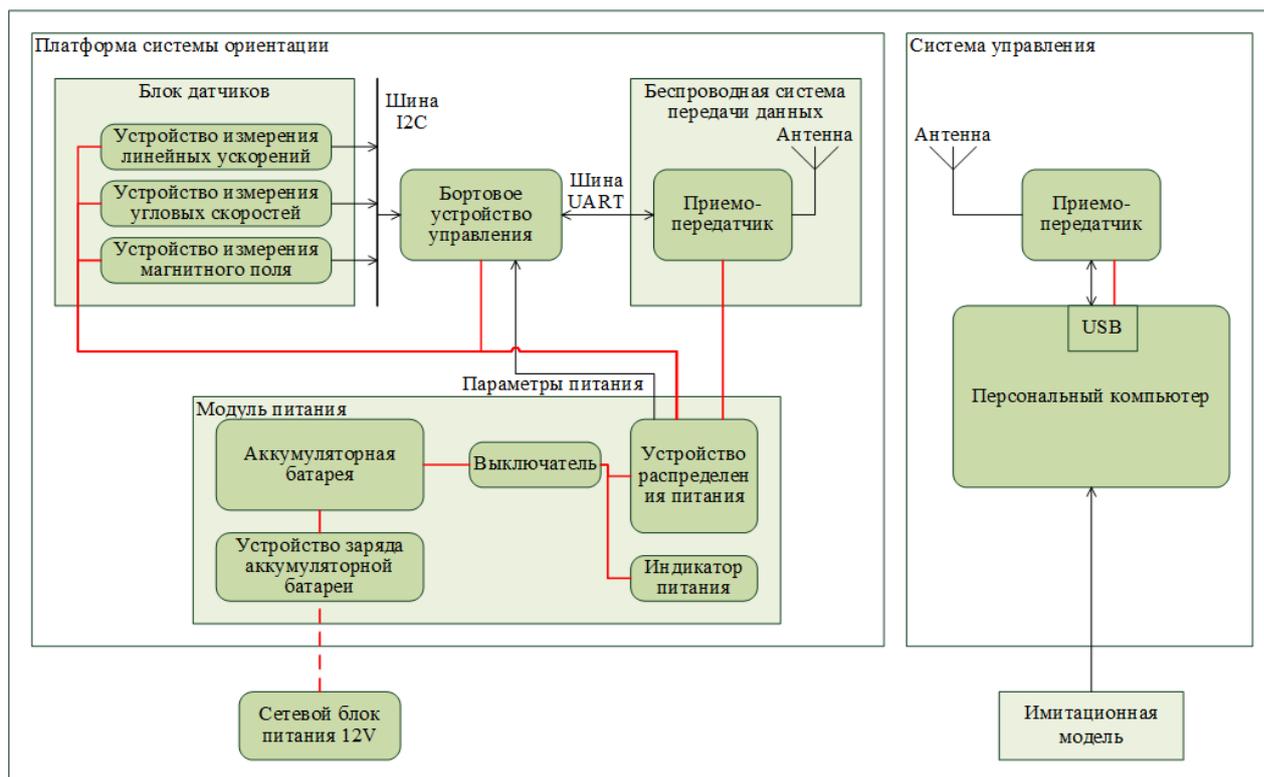


Рисунок 2 – Архитектура программно–математического обеспечения комплекса

Программное обеспечение бортового устройства управления предназначено для определения текущего углового положения ЛА и базируется на математической модели обработки данных и определения углового положения ЛА на комплексе на основе измерений системы датчиков, а также производит оценку состояния модуля питания и других компонентов платформы системы ориентации. Система управления комплекса обеспечивает определение рассогласования между требуемым угловым положением, заданным командой, и расчетным угловым положением на основе данных датчиков, расположенных на платформе, визуализацию данных о текущем угловом положении и рассогласовании углового положения с целью анализа качества работы системы ориентации испытываемого ЛА.

Математическая модель обработки данных и определения углового положения ЛА на комплексе на основе измерений системы датчиков базируется на алгоритме комплиментарного фильтра для двух измерений [5], доработанного в данной работе для трех измерений гироскопического датчика, магнитного датчика и акселерометра, который не усложнен расчетами и легче реализуем на различном аппаратном обеспечении в сравнении, например, с фильтром Калмана (рисунок 3).

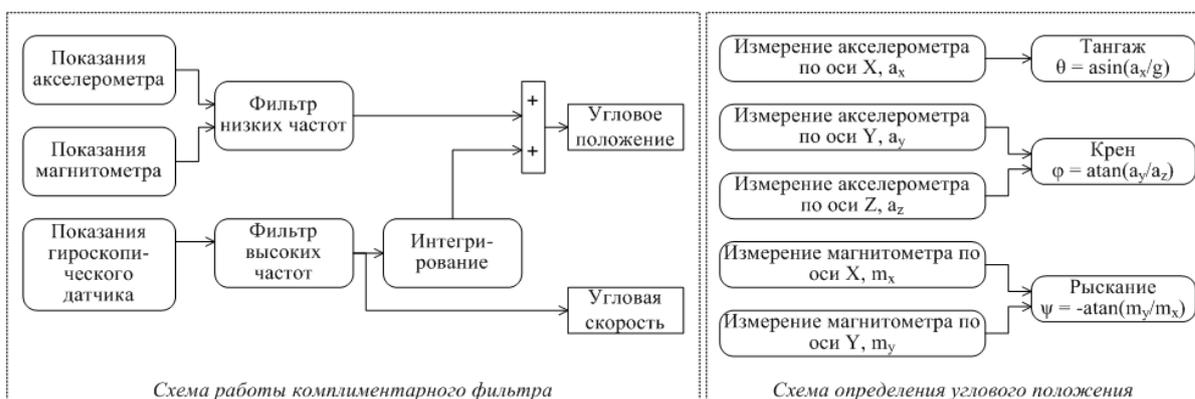


Рисунок 3 – Определение углового положения ЛА

Для устранения погрешности ориентации ЛА на комплексе, обусловленной влиянием трения в подшипниках карданного подвеса, в структуру ПМО введена имитационная модель (рисунок 2), моделирующая вращательное движение ЛА на комплексе без учета трения, соответствующее его движению в реальных условиях эксплуатации.

Имитационная модель базируется на математической модели вращательного движения твердого тела, представленной динамическими и кинематическими уравнениями Эйлера [6], относительно осей системы координат, приведенных на рисунке 1:

$$J\vec{\dot{\omega}} + \vec{\omega} \times J\vec{\omega} = \vec{M}, \quad (1)$$

$$\vec{\omega} = 2\vec{Q}^* \otimes \vec{\dot{Q}}, \quad (2)$$

где $J = J_{ЛА} + J_{П}$, - суммарный тензор инерции ЛА и карданного подвеса; $\vec{\omega}$ - угловая скорость ЛА; \vec{M} - управляющий момент системы ориентации ЛА; \vec{Q} - кватернион, задающий текущее угловое положение ЛА; \vec{Q}^* - кватернион, обратный к \vec{Q} ; \otimes - операция умножения кватернионов.

Обычно в качестве закона управления в системах ориентации ЛА, определяющего закон изменения управляющего момента \vec{M} , применяется ПД – регулятор [7]. В данной работе для обеспечения устранения погрешности от влияния трения результаты работы имитационной модели, а именно результат интегрирования уравнений (1) - (2) в виде кватерниона \vec{Q} передается по беспроводному каналу связи в бортовое устройство управления комплекса и далее в устройство управления испытываемой системы ориентации ЛА, которая формирует закон управления в виде:

$$\vec{M} = -h\vec{\omega} - \alpha\vec{\Delta\Lambda} - k \int_{t_0}^t \vec{\delta Q} dt, \quad (3)$$

где h , α - неизвестные коэффициенты обратной связи; k - неизвестный коэффициент; $\vec{\Delta\Lambda}$ - кватернион рассогласования между текущим угловым положением ЛА $\vec{\Lambda}$, определяемым с помощью датчиков системы ориентации ЛА, и требуемым угловым положением ЛА $\vec{\Lambda}_3$, задаваемым в качестве команды в системе управления комплекса; $\vec{\delta Q}$ - кватернион отклонения углового положения ЛА $\vec{\Lambda}$ от углового положения ЛА \vec{Q} , полученного в результате работы имитационной модели, $\vec{\delta Q} = \vec{Q}^* \otimes \vec{\Lambda}$.

Результаты тестирования ПМО бортового устройства управления для решения задачи обработки данных датчиков и определения углового положения ЛА на комплексе приведены на рисунках 4, 5.

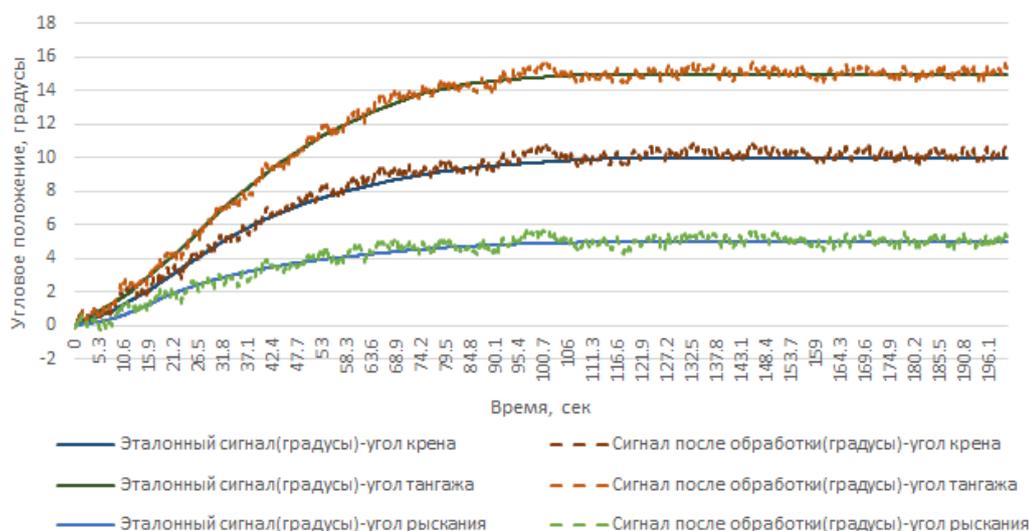


Рисунок 4 – Результаты определения углового положения ЛА

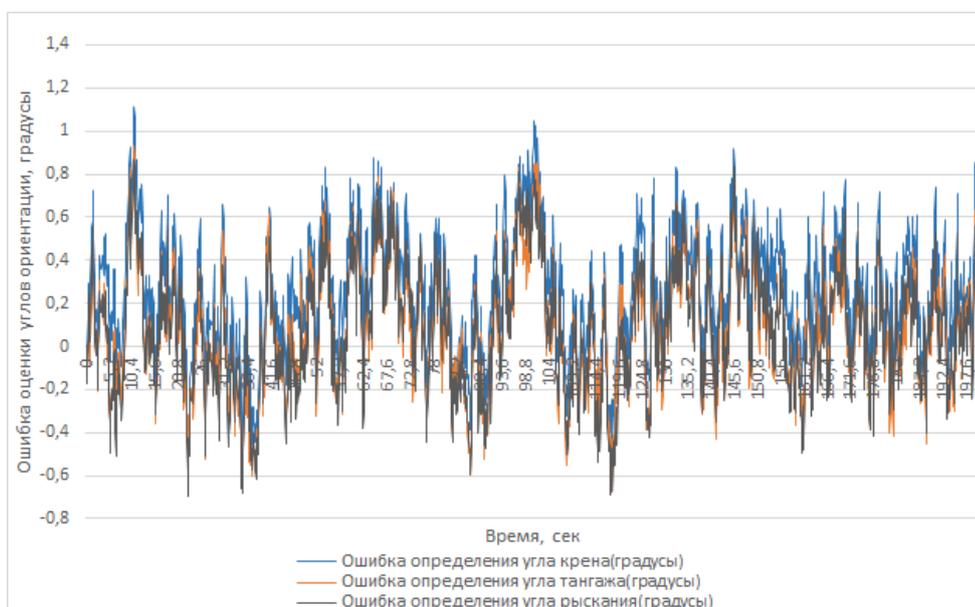


Рисунок 5 – Ошибка определения углового положения ЛА

По рисункам видно, что средний разброс значений углового положения ЛА от исходного эталонного сигнала составляет в среднем менее 0,5 градуса, в то время как среднеквадратическое отклонение ошибки определения углового положения составляет 0,27 градусов для угла крена и тангажа и 0,29 градусов для угла рыскания. Полученная точность определения углового положения ЛА является соизмеримой с точностью определения углового положения с помощью штатного набора датчиков и ПО систем ориентации малых спутников и БПЛА - в среднем до 1 градуса. В связи с этим разработанное ПО может быть успешно использовано в текущем виде для дальнейшей технической реализации комплекса.

Результаты проверки эффективности предложенного метода устранения погрешности от влияния трения приведены на рисунке 6.

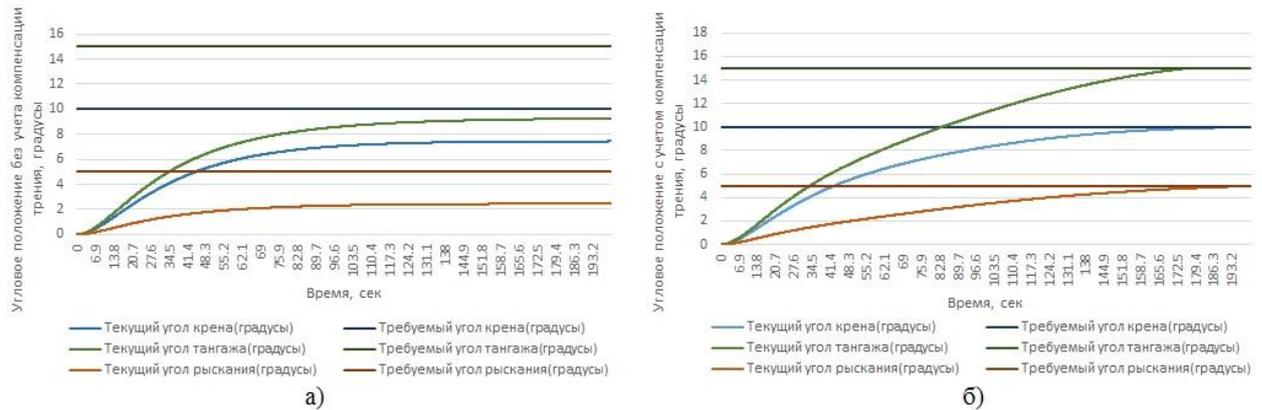


Рисунок 6 – Результаты решения задачи устранения погрешности от влияния трения
Выводы

Приведенные результаты показывают, что введение уточнения в закон изменения управляющего момента в виде (3) позволяет успешно устранить погрешность ориентации ЛА, обусловленной трением, по оси крена до 1.5 градуса, по оси рыскания до 2.5 градуса и по оси тангажа до 5 градусов. Это позволяет реализовать конструкцию комплекса без технических усложнений в виде дополнительных исполнительных органов для активной компенсации трения.

Все исследования в данной статье проведены в рамках финансирования работ по программе 008 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yu Y., Ding X. A quadrotor test bench for six degree of freedom flight // J Intell Robot Syst. – 2012. –Vol. 68. – P. 323–338.
- [2] Bhargava A. Development of a quadrotor testbed for control and sensor development: Msc thesis: Electrical Engineering: defended December 2008 –Clemson University, 2008. – 522 p.
- [3] Thu P.H., Hung T.X, Phuong V.V. Developing PID-based-controller for an ADCS test-bed platform // IEICE Technical Report. – Vol. 115, No. 320. – P. 7-12.
- [4] Hoffman F., Goddemeier N., Bertram T. Attitude estimation and control of quadcopter // Proc of International conference on intelligent robots and systems. – Taiwan, 2010. – P. 1072 – 1077.
- [5] Baldwin G., Mahony R., Trumpp J., Hamel T., Cheviron T. Complementary filter design on the special Euclidean group SE // Proc. of 9th European control conference on behalf of the EUCA. - Kos, Greece, 2007. – p. 3763–377.
- [6] Moldabekov M., Yelubayev S., Alipbayev K., Sukhenko A., Bopayev T., Mikhailenko D. Stability analysis of the microsatellite attitude control system // Applied mechanics and materials. - 2015. – Vol. 798. – P. 297 – 302.

REFERENCES

- [1] Yu Y., Ding X. A quadrotor test bench for six degree of freedom flight // J Intell Robot Syst. – 2012. –Vol. 68. – P. 323–338.
- [2] Bhargava A. Development of a quadrotor testbed for control and sensor development: Msc thesis: Electrical Engineering: defended December 2008 –Clemson University, 2008. – 522 p.
- [3] Thu P.H., Hung T.X, Phuong V.V. Developing PID-based-controller for an ADCS test-bed platform // IEICE Technical Report. – Vol. 115, No. 320. – P. 7-12.
- [4] Hoffman F., Goddemeier N., Bertram T. Attitude estimation and control of quadcopter // Proc of International conference on intelligent robots and systems. – Taiwan, 2010. – P. 1072 – 1077.
- [5] Baldwin G., Mahony R., Trumpp J., Hamel T., Cheviron T. Complementary filter design on the special Euclidean group SE // Proc. of 9th European control conference on behalf of the EUCA. - Kos, Greece, 2007. – p. 3763–377.

[6] Moldabekov M., Yelubayev S., Alipbayev K., Sukhenko A., Bopeyev T., Mikhailenko D. Stability analysis of the microsatellite attitude control system // Applied mechanics and materials. - 2015. – Vol. 798. – P. 297 – 302.

SOFTWARE OF THE COMPLEX FOR GROUND TESTS OF THE ATTITUDE CONTROL SYSTEM OF THE SATELLITE AND UAV

A. Sukhenko^{1,*}, T. Bopeyev¹, D. Shapovalova¹, A. Fomenko¹, S. Yelubayev²

¹Institute of space technique and technology, Almaty, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

e-mail: sukhenko.a@istt.kz, yelubayev.s@istt.kz, anysergeevna@gmail.com

Abstract. The solution to the problem of developing the software and mathematical support of the complex for ground-based testing of the satellite and unmanned aerial vehicles orientation system is considered in the article. This complex is designed on the basis of a gimbal and simulates the movement of an aircraft with three degrees of freedom. To test the aircraft orientation system and evaluate the quality of its work, the software and software of the complex should provide the ability to set the command for the required rotation of the aircraft. Also, the software and software of the complex should determine the current angular position of the aircraft with an accuracy corresponding to the accuracy of the tested orientation system of the aircraft, visualize the test process. In addition, due to the peculiarities of the technical implementation of the complex, its software and software should ensure the elimination of errors from the influence of friction in the bearings of the gimbal. The described tasks in the framework of this work are solved by introducing additional hardware and appropriate software to assess the angular position of the aircraft, implementing methods to eliminate errors from the effects of friction.

Key words: software, ground tests, attitude control system, satellite, unmanned aerial vehicles.

ЖЕР СЕРІГІ МЕН ПИЛОТСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫНЫҢ БАҒДАРЛАУ ЖҮЙЕСІН ЖЕР ҮСТІНДЕ СЫНАУҒА АРНАЛҒАН АППАРАТТЫ-БАҒДАРЛАМАЛЫ КЕШЕННІҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТІЛУІ

A.C. Сухенко^{1,*}, Т.М. Бопеев¹, Д.Л. Шаповалова¹, А.Е. Фоменко¹, С.А. Елубаев²

¹Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматы, ҚР

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, ҚР

e-mail: sukhenko.a@istt.kz, yelubayev.s@istt.kz, anysergeevna@gmail.com

Аңдатпа. Ол қардан аспасы негізінде әзірленген және үш еркіндік дәрежесі бар ұшу аппаратының қозғалысын имитациялайтын спутниктер мен БПЛА бағдар жүйесін жерүсті өңдеу үшін кешенді бағдарламалық-математикалық қамтамасыз етуді әзірлеу міндетін шешу қарастырылған. Ұшу аппаратын бағдарлау жүйесін сынауды жүргізу және оның жұмысының сапасын бағалау үшін кешенді бағдарламалық-математикалық қамтамасыз ету ұшу аппаратының талап етілетін бұрылысына команда беру мүмкіндігін қамтамасыз етуі, ұшу аппаратының ағымдағы бұрыштық жағдайын ұшу аппаратын бағдарлаудың сыналатын жүйесінің дәлдігіне сәйкес дәлдікпен анықтау, сынау процесін визуалдау мүмкіндігін қамтамасыз етуі тиіс. Бұдан басқа, кешенді техникалық іске асыру ерекшеліктеріне байланысты оның бағдарламалық-математикалық қамтамасыз етілуі қардан аспасының мойынтіректеріндегі үйкеліс әсерінен қателікті жоюды қамтамасыз етуі тиіс. Осы жұмыс шеңберінде сипатталған міндеттер ұшу аппаратының бұрыштық жағдайын бағалау, үйкеліс әсерінен қателіктерді жою әдістерін іске асыру үшін қосымша аппараттық қамтамасыз етуді және тиісті бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізу есебінен шешіледі.

Түйін сөздер: бағдарламалық математикалық қамтамасыз ету, жер үсті сынақтары, бағдарлау жүйесі, спутник, пилотсыз ұшу аппараты.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

ГРНТИ 44.37.29

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

С.Г. Хан, А.Қ. Макишев*

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: almas0996@mail.ru

***Аннотация.** Концепция виртуальной энергетической системы, объединяющей ресурсы нескольких источников, может решить сразу несколько задач в энергетике – такие, как оптимизация, стабилизация, гибкость, интеграция. Единая распределенная теплоэнергетическая система управления позволит объединить ресурсы отдельных источников тепловой энергии (солнечные, тригенерационные, когенерационные установки и т.д.) в единую виртуальную теплотель для снижения нагрузки на централизованную сеть теплоснабжения.*

Разработка алгоритма и программы системы управления распределенного теплоснабжения (DHPMS), обеспечивающих равномерное распределение тепловой нагрузки между возобновляемыми источниками энергии, представлена в статье.

Структура сети распределенного теплоснабжения разработана. Ее объекты были смоделированы в MATLAB/Simulink для тестирования работы алгоритма и программы управления (SCADA), реализованной в среде LabView. Результаты исследований работы алгоритма и программы управления показали правильное распределение нагрузки между подключенными источниками.

Ключевые слова: система распределенного теплоснабжения, DHPMS, SCADA, LabView.

Введение

Концепция виртуальной энергетической системы (ВЭС) зародилась несколько лет назад, но все еще является достаточно новой, а от того немного пугающей. Между тем, ВЭС может помочь решить сразу несколько задач в энергетике – таких, как оптимизация, стабилизация, гибкость, интеграция. Иными словами, концепция ВЭС стремится к достижению ситуации win-win, когда все участники энергосистемы, включая потребителей, находятся в выигрыше [1]. Виртуальная энергосистема может объединять (соединять) ресурсы нескольких источников: мелких генераторов, объектов распределенной генерации, ВИЭ, потребителей и т.п. ВЭС может выступать балансирующим механизмом – например, регулировать непостоянную выработку ВИЭ и пиковые нагрузки. Она также может быть инструментом регулирования взаимоотношений с клиентами, а также инструментом маркетинга и рекламы для отдельного игрока рынка. Например, энергосбытовой компании, которая с помощью ВЭС может гарантировать своим клиентам бесперебойную поставку, более точный биллинг и низкие цены [2].

Актуальной на сегодняшний день задачей является объединение в единую распределенную теплоэнергетическую систему управления (DHPMS) отдельных источников тепловой энергии (солнечные установки, тригенерационные, когенерационные установки и т.д.) для снижения нагрузки на централизованную сеть теплоснабжения. DHPMS позволяет объединить ресурсы подобных источников тепловой энергии в единую виртуальную теплотель (ВЭС). Необходимость в таком объединении возникает в связи с проблемами диспетчерского управления из-за «невидимости» для диспетчера установок распределенной генерации, необходимостью повышения эффективности энергоснабжения, учета накопителей энергии для компенсации неравномерности режимов работы распределенных ВИЭ, а также активных потребителей, имеющих возможности управления собственным энергопотреблением [1,2]. Такая система регулирует непостоянную выработку и пиковые нагрузки маломощных ВИЭ путем распределения энергии от более мощных источников.

Кроме того, к функциям DHPMS также относятся мониторинг и учет выработки энергии источниками и ее потребления пользователями, расчет выплат пользователям и дохода владельцев источников. Владельцы таких источников энергии задействуют не всю мощность своих источников, однако их содержание и обслуживание стоит не малых финансовых затрат. DHPMS позволяет владельцам источников реализовать неиспользованные мощности в коммерческих целях.

Одним из источников тепловой энергии DHPMS является система солнечного теплоснабжения. Для успешного включения такого источника в DHPMS необходимо произвести исследование на имитационной модели солнечного теплового источника [3,4]. Одним из авторов настоящей статьи была разработана модель солнечной системы теплоснабжения и реализована в среде MATLAB средствами Simulink [5]. При моделировании был применен блочно-ориентированный подход. В данной работе представлена разработка алгоритма и программы системы управления распределенного теплоснабжения (DHPMS), обеспечивающих равномерное распределение тепловой нагрузки между возобновляемыми источниками энергии.

Структура сети распределенного теплоснабжения

Прежде, чем разрабатывать и внедрять систему управления распределенного теплоснабжения, необходимо провести моделирование работы системы и участников системы на имитационных моделях. Участниками системы являются источники и потребители тепловой энергии. В качестве источников тепловой энергии выступают тепловые солнечные установки (СУ), которые моделируются в MATLAB/Simulink. Потребителями DHPMS являются владельцы солнечных установок, которые подключаются в сеть в случае недостатка тепловой энергии от собственных источников. На рисунке 1 представлена структурная схема DHPMS.

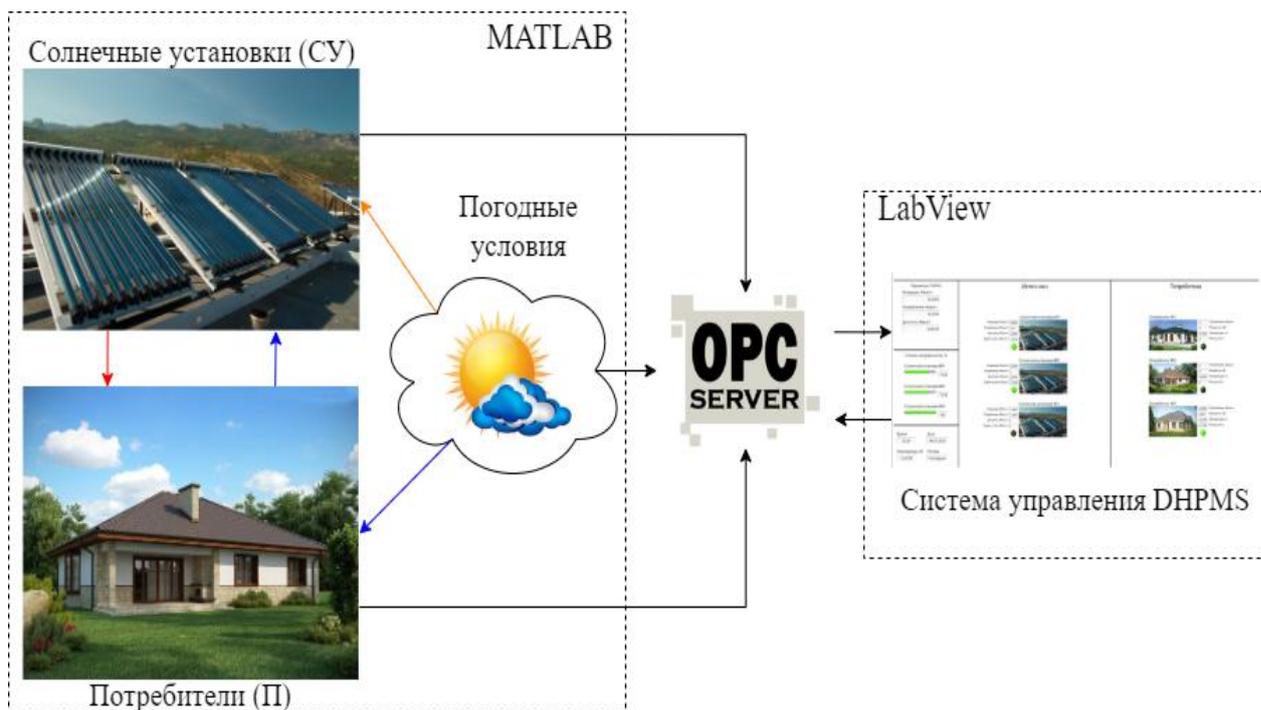


Рисунок 1 – Структурная схема DHPMS

Участники системы – Солнечные установки (СУ) и Потребители (П) взаимодействуют друг с другом с учетом погодных условий. Модели участников системы и погодных условий разработаны в среде MATLAB/Simulink [5]. Все необходимые данные (количество сгенерированной, потребленной, отданной тепловой энергии, расход и температура теплоносителя, температура помещения потребителей, положение клапанов в системе труб теплоносителя, погодные условия [6,7]) передаются через OPC Server в систему управления распределенного теплоснабжения, реализованную в среде графического программирования NI LabView [8].

Алгоритм системы управления распределенного теплоснабжения

Алгоритм системы управления распределенного теплоснабжения DHPMS выполняется циклично, пока не будет выполнено условие выхода из цикла (рисунок 2). Начало алгоритма обозначено блоком номер 1, после которого начинается процедура выполнения цикла (блоки 2-26). Итерация цикла начинается со считывания необходимых исходных данных от источников и потребителей, упомянутых выше.

В DHPMS может входить множество источников тепловой энергии, поэтому в целях оптимизации проверки и выполнения необходимых условий и операций для каждой СУ выполняется цикл с известным числом повторений (блоки 3-7). В блоке 3 задается число -количество итераций цикла, равным числу СУ. Цикл начинается с проверки условия наличия доступной энергии у проверяемой СУ (блок 4). Если условие является истиной, то проверяемая СУ подключается к сети (блок 7), далее осуществляется подсчет подключенных источников (блок 8), число которых будет использовано в дальнейшем, и производится возврат в начало цикла для подключения и проверки следующего источника. Если условие (блок 4) не выполняется, значит у проверяемой СУ нет доступной энергии. В этом случае, в блоке 5 проверяется: либо владелец СУ испытывает недостаток тепловой энергии, либо всю энергию использует на собственные нужды. Если существует потребность в энергии, то владелец СУ отправляет запрос на подключение к DHPMS в качестве потребителя (блок 6). В противном случае производится возврат в начало цикла для подключения и проверки другого источника - владелец СУ.

После операций со всеми источниками, рассчитываются: степень загруженности каждого источника (отношение суммы потребляемой и реализованной энергии к генерируемой); общее количество генерируемой, доступной и реализованной в сеть тепловой энергии от всех источников (сумма соответствующих показателей) (блоки 9-12).

Следующим шагом алгоритма (блок 13) является проверка наличия доступной энергии в сети, если сеть не имеет доступную энергию, то производится отказ владельцам источников, которые ранее запрашивали подключение к сети в качестве Потребителя (П) (блок 14). В противном случае, Потребитель подключается к сети (блок 15), производится расчет суммарного потребления из сети (блок 16). Чтобы нагрузка между подключенными владельцами СУ была распределена равномерно в процентном соотношении (отношение всей потребляемой энергии от источника к генерируемой им тепловой энергии, умноженное на 100%), необходимо вычислять количество энергии, которую необходимо реализовать в сеть для каждого источника отдельно (блок 17):

$$P_{от} = P_{Г} - \left(\frac{P_{Г}}{\sum_{i=1}^N P_{Г_i}} \cdot \left(\sum_{i=1}^N P_{Д_i} - \sum_{k=1}^M P_{П_k} \right) + P_{П} \right) \quad (1)$$

где $P_{от}$ – тепловая мощность, реализуемая в сеть; $P_{Г}$ – тепловая мощность, генерируемая подключенной СУ; $P_{П}$ – потребляемая мощность П, подключенного к сети; $P_{Д}$ – доступная мощность подключенной СУ; N – количество подключенных СУ к сети; M – количество подключенных П к сети.

В блоке 18 проверяется количество подключенных к сети СУ; если подключено более одного источника, то в сеть реализуется рассчитанное количество отдаваемой энергии для равномерной нагрузки (блок 19). Если к сети подключен только один источник, то в случае, когда необходимая потребителю энергия превышает доступную энергию источника, источник отдает всю доступную энергию, иначе реализуется необходимое количество тепловой энергии (блок 20). После чего, в блоке 21 вычисляется процентная доля реализованной источниками энергии от общего количество реализованной энергии в DHPMS.

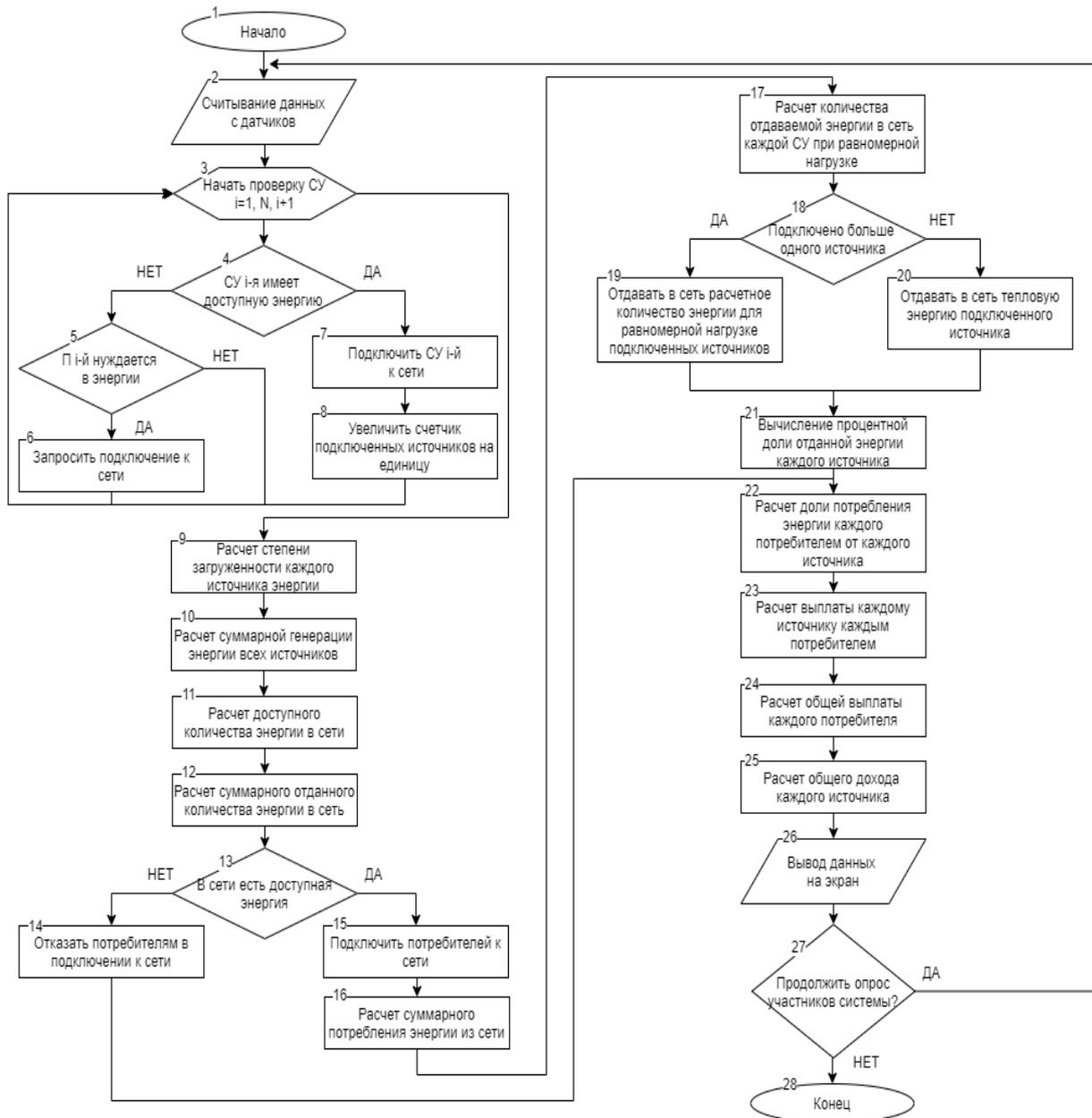


Рисунок 2 – Алгоритм системы управления распределенного теплоснабжения

В блоках 21-25 соответственно производятся расчеты: доля потребления каждого П от каждой СУ; выплаты каждому владельцу СУ от каждого П; общая выплата каждого П; доход каждой СУ. В блоке 26 осуществляется вывод всех введенных и рассчитанных параметров на интерфейс программы. По окончании цикла, происходит проверка условия выхода из цикла (блок 27): продлить опрос участников системы? Если условие не выполняется, то производится следующая итерация (блок 2), в противном случае алгоритм завершает работу (блок 28).

На основе данного алгоритма разработана программа управления DHPMS и SCADA - визуализация его работы в среде LabView [8] (рисунки 3-5).

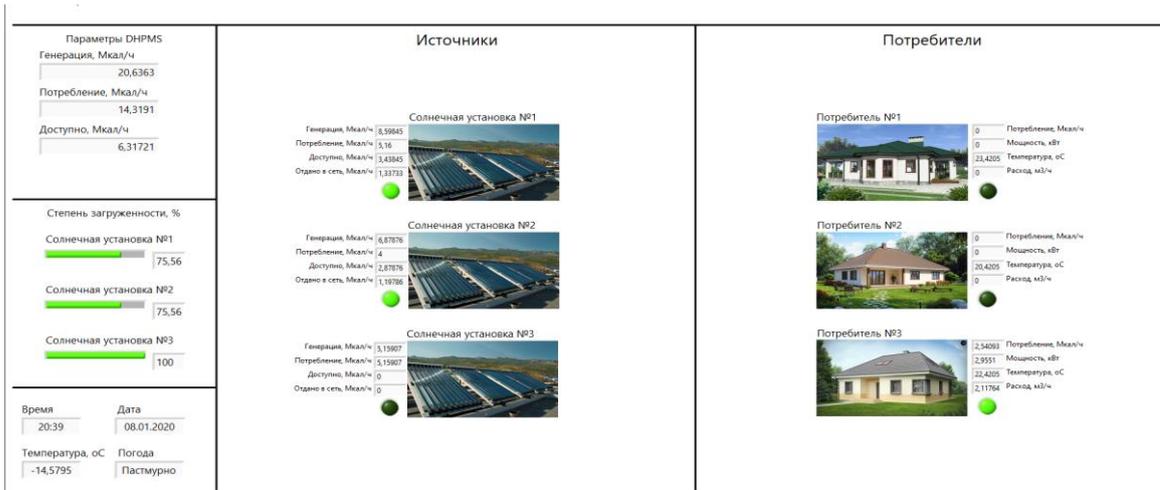


Рисунок 3 – Главная страница SCADA



Рисунок 4 – Интерфейс потребителей энергии

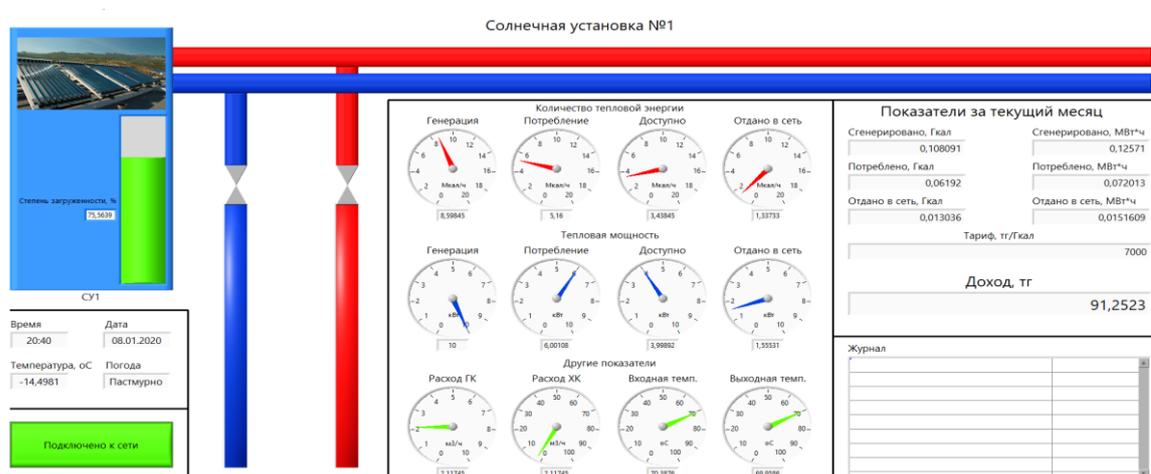


Рисунок 5 – Интерфейс солнечной установки №1

На рисунке 3 изображен главный интерфейс программы, на котором представлены краткие данные о всех участниках системы, а также общие параметры системы. Интерфейс с потребителями системы и их параметры представлены на рисунке 4. На данном интерфейсе параметры «потребление» и «мощность» отображают количество и мощность потребляемой энергии из распределенной сети. Интерфейс одного из источников тепловой энергии - солнечной установки №1 со всеми ее параметрами представлен на рисунке 5. Интерфейсы других источников энергии выглядят аналогичным образом.

Результаты

Чтобы исследовать работу алгоритма необходимо убедиться в корректной работе моделей участников ДНРМС. Для этого проведено исследование адекватности модели СУ, разработанной в [5]. Полученные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными гелиоколлекторной системы «СОКОЛ» в г. Красноярск (таблица 1), которые были получены 15 августа 2007 г в период с 9:00 до 18:00 [9].

Таблица 1 – Изменение температуры теплоносителя в течение дня

Время, с	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Модель	25,739	30,971	40,197	42,525	49,328	54,808	60,563	66,001	71,025	72,144
«СОКОЛ»	20	30	46	50	55	60	65	70	70	68
Разница	5,739	0,971	5,803	7,475	5,672	5,192	4,437	3,999	1,025	4,144

В качестве входных данных для модели использованы те же параметры, которые использовались для гелиоколлекторной системы «СОКОЛ». Полученная экспериментальным путем температура теплоносителя в гелиоколлекторе изменялась от +20 до +70 °С [9]. Температура, полученная в результате моделирования (таблица 1), отличается от полученной экспериментально в среднем на 4,45 °С. Это отличие объясняется тем, что в моделях не учитывается влияние изменения скорости ветра во время эксперимента, а также трудностями, связанными с точностью определения коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели даже при незначительном изменении скорости ветра.

Для исследования работы алгоритма ДНРМС проведено сравнение результатов данных, полученных, когда каждый владелец СУ использовал только свой источник тепла, и когда СУ и П подключались к сети ДНРМС, в течение одних суток при неблагоприятных погодных условиях (зимнее время года, низкий уровень прозрачности атмосферы). При этом в обоих случаях были использованы одни и те же погодные условия. Результаты исследований приведены на графиках (рисунки 6-8).

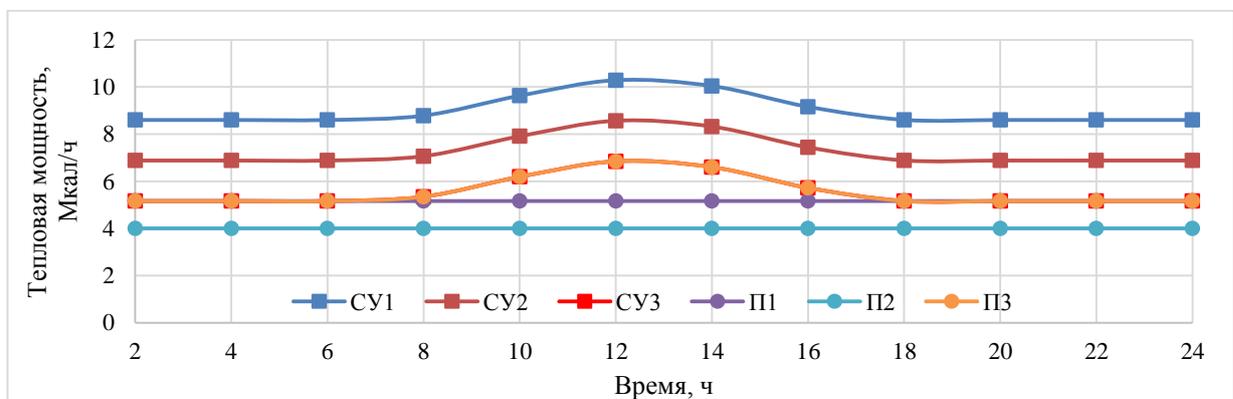


Рисунок 6 – Генерация СУ и потребление П при подключении к сети

Исследования проведены для трех источников и трех потребителей. В обоих случаях мощность генерации СУ и потребления их владельцами является одинаковой (рисунок 6). СУ1 и СУ2

полностью обеспечивают нужды своих владельцев П1 и П2. Однако стоит отметить, что владелец СУ3 (П3) потребляет то же количество энергии, что и производит источник (СУ3), т.е. СУ3 загружен на 100% даже при увеличении мощности генерации в дневное время.

Из этого следует, что П3 нуждается в энергии, что и подтверждено при включении его в сеть (рисунок 7). П3 потреблял энергию из сети DHPMS, т.к. ввиду плохих погодных условий энергии собственного источника было недостаточно. А потребляемую энергию из сети разделили между собой СУ1 и СУ2, при этом их загруженности были равны в процентном соотношении (рисунок 8), что подтверждает работу алгоритма.

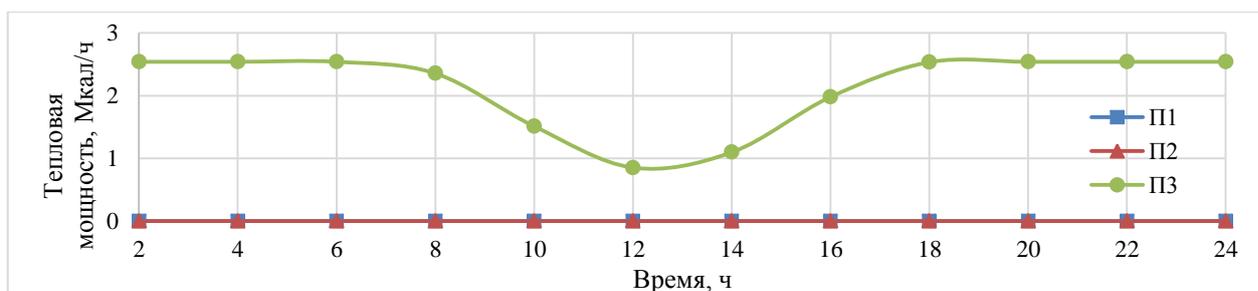


Рисунок 7 – Потребление П из сети DHPMS

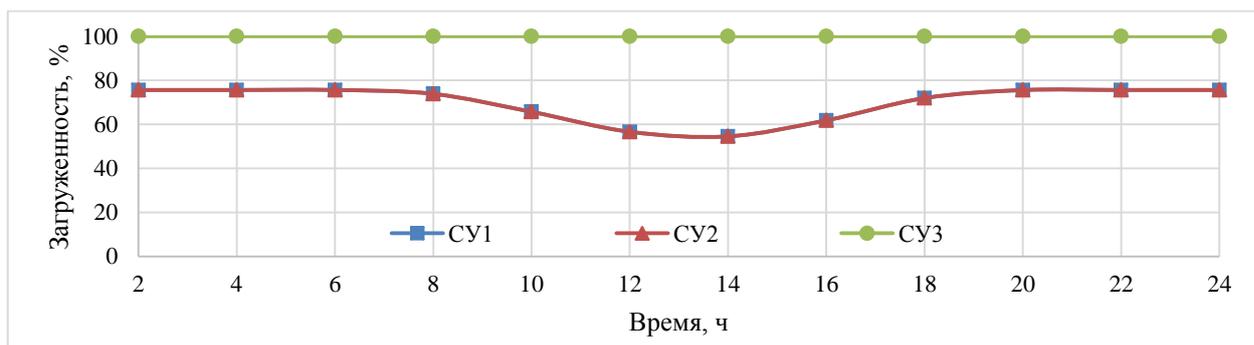


Рисунок 8 – Загруженность СУ при работе алгоритма

Выводы

Разработанные модели солнечных источников тепловой энергии являются адекватным и пригодными для тестирования алгоритма системы управления распределенного теплоснабжения.

Результаты исследований работы алгоритма и программы управления DHPMS показали правильное распределение нагрузки между подключенными источниками. На основании этого можно сделать вывод о корректной работе алгоритма при подключении участников DHPMS к системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Селяхова О., Тарновская О., Фатеева Е., Юрчук О. Виртуальная электростанция // Энергорынок, 2016, № 2 (137), с.43-50.
- [2] Кейко А.В. Системное сопоставление энергетических технологий // Системные исследования в энергетике. Ретроспектива научных направлений СЭИ-ИСЭМ. – Новосибирск: Наука, 2010. – С. 215-227
- [3] Buzas J., Farkas I. Solar domestic hot water system simulation using block-oriented software. – Gödöllő: Department of Physics and Process Control, Szent Istvan University. – 2013. – 9 с.
- [4] Buzas J. Block-oriented modeling of solar thermal systems. – Gödöllő: Department of Physics and Process Control, Szent Istvan University. – 2009. – 33 с.

[5] А.К. Макишев. Разработка и исследование системы управления энергетическими активами DHPMS с включением ВИЭ. // НАО «АУЭС имени Гумарбека Даукеева». Сборник научных трудов магистрантов «Энергетика, радиотехника, электроника и связь». – Алматы, 2020.

[6] Schlyter P. Computing planetary positions – a tutorial with worked examples. – Sweden. [Электронный ресурс]. URL: <http://stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html>.

[7] Борцов А. В, Потовская Е. И. Определение интенсивности солнечного излучения для наклонной принимающей поверхности // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Энергетика. – Харьков.: НТУ «ХПИ». – 2013. – №59(1032). – 39 с.

[8] Официальный сайт National instruments. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://search.ni.com/nisearch/app/main/p/ap/tech/lang/ru/pg/1/sn/catnav:kb/>

[9] А.В. Бастрон, Н.Б. Михеева, Е.М. Судаев. Горячее водоснабжение сельских бытовых потребителей красноярского края с использованием солнечной энергии. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2016. – 94-98 с.

LIST OF REFERENCES

[1] Selyakhova O., Tarnovskaya O., Fateeva E., Yurchuk O. Virtual power plant // Energorynok, 2016, No. 2 (137), - 43-50 p.

[2] Keiko A.V. System comparison of energy technologies // System Studies in Energy. Retrospective of scientific research SEI - ISEM. - Novosibirsk: Nauka, 2010. - 215-227 p.

[3] Buzas J., Farkas I. Solar domestic hot water system simulation using block-oriented software. – Gödöllő: Department of Physics and Process Control, Szent Istvan University. – 2013. – 9 p.

[4] Buzas J. Block-oriented modeling of solar thermal systems. – Gödöllő: Department of Physics and Process Control, Szent Istvan University. – 2009. – 33 p.

[5] A.Q. Makishev. Development and research of the energy asset management system dhpms with the inclusion of renewable energy. Collection of scientific works of undergraduates // НАО "АУЭС имени Гумарбек Даукеев". Collection of scientific papers of undergraduates "Energy, radio engineering, electronics and communications". - Almaty, 2020.

[6] Schlyter P. Computing planetary positions - a tutorial with worked examples. - Sweden. [Electronic resource]. URL: <http://stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html>.

[7] Bortsov A. V., Potovskaya E. I. Determination of solar radiation intensity for an inclined receiving surface // Bulletin of NTU "XPII". Series: Energy. - Kharkov.: NTU "XPII". - 2013. - No. 59 (1032). - 39 p.

[8] A.V. Bastron, N.B. Mikheeva, E.M. Sudaev. Hot water supply - consumers of household consumers of the Krasnoyarsk Territory using solar energy. - Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2016.- 94-98 p.

[7] Official website of National instruments. 2020. [Electronic resource]. URL: <https://search.ni.com/nisearch/app/main/p/ap/tech/lang/ru/pg/1/sn/catnav:kb/>

БӨЛІНГЕН ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕСІН БАСҚАРУ АЛГОРИТМІ МЕН БАҒДАРЛАМАЛАРЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

С.Г. Хан, А.Қ. Макишев*

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: almas0996@mail.ru

Аңдатпа. Виртуалды энергетикалық жүйе тұжырымдамасы бірнеше көздердің ресурстарын біріктіре отырып, энергетика саласындағы бірнеше мәселені бірден шеше алады - оңтайландыру, тұрақтандыру, икемділік, интеграция. Біртұтас таратылған жылу қуатын және жылу энергиясын басқару жүйесі орталықтандырылған жылумен жабдықтау желісіне жүктемені азайту үшін жылу энергиясының көздері (күн, тригенерация, когенерациялық қондырғылар және т.б.) арасындағы ресурстарды бірыңғай виртуалды жылумен жабдықтауға біріктіруге мүмкіндік береді.

Мақалада жаңартылған энергия көздері арасында жылу энергиясын біркелкі бөлуді қамтамасыз ететін, жылумен жабдықтауды басқарудың (DHPMS) алгоритмдері мен бағдарламалары келтірілген.

LabView ортасында енгізілген бақылау алгоритмдері мен бақылау бағдарламалары (SCADA) үшін MATLAB / Simulink-те модельденген таратылған жылумен жабдықтау желісінің құрылымы жасалды.

Алгоритм мен басқару бағдарламасының жұмысын зерттеу нәтижелері қосылған көздер арасындағы дұрыс жүктемені көрсетті.

Түйін сөздер: таратылған жылумен жабдықтау жүйесі, DHPMS, SCADA, LabView.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE ALGORITHM AND PROGRAM OF THE CONTROL SYSTEM OF DISTRIBUTED HEAT SUPPLY

S.G. Khan, A.Q. Makishev*

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan

e-mail: almas0996@mail.ru

Annotation. *The concept of a virtual energy system, combining the resources of several sources, can solve several problems in the energy sector at once - such as optimization, stabilization, flexibility, integration. A single distributed heat energy management system will allow combining the resources of individual heat sources (solar, trigeneration, cogeneration plants, etc.) into a single virtual heating network to reduce the load on the centralized heat supply network.*

The development of the algorithm and program of the distributed heat supply control system (DHPMS), providing a uniform distribution of the heat load between renewable energy sources, is presented in the article.

The structure of the district heating network has been developed. Its objects were modeled in MATLAB / Simulink to test the operation of the algorithm and the control program (SCADA) implemented in the LabView environment. The results of studies of the operation of the algorithm and the control program showed the correct load distribution between connected sources

Keywords: distributed heat supply system, DHPMS, SCADA, LabView.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

МРНТИ 81.93.29

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИНЕЙНОГО КРИПТОАНАЛИЗА ШИФРА QAMAL

Р. Бияшев¹, К. Алгазы^{1,2,*}, Д. Дюсенбаев¹, К. Сакан¹

¹Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

e-mail: kunbolat@mail.ru, dimash_dds@mail.ru

Аннотация. *Обработка, хранение и передача информации является важным процессом в современном обществе. В данной статье представлены результаты линейного криптоанализа ранее разработанного алгоритма шифрования Qamal. Исследование состоит из двух этапов. На первом этапе анализ проводился отдельно для каждого преобразования, используемого в алгоритме. На втором этапе, с учетом этих результатов, анализ проводился на полный алгоритм шифрования. В результате работы показана стойкость данного алгоритма для линейного криптоанализа.*

Ключевые слова: *линейный криптоанализ, криптография, шифрование, S-блок, стойкость.*

Введение

В связи с возрастающей зависимостью жизни от информационных технологий общества и необходимостью обеспечения информационной безопасности применение криптографических методов стало актуальным для всего общества. Обеспечение секретности не всегда является самым актуальным и уступает по значимости обеспечению целостности, подлинности и другим аспектам безопасности. Изобретение новых принципов криптографии и появление так называемой криптографии с открытым ключом дали мощный импульс для широкого использования криптографии для нужд гражданского общества, для нужд бизнеса, банковского дела. Криптографическая защита информации является одной из основных подсистем любой системы защиты информации. Процессы обработки, хранения, передачи и использования информации становятся главенствующими в жизни современного общества [1-3]. Безопасность защищаемой информации стала определяться в первую очередь ключом. Сами алгоритмы шифрования стали известными противнику и доступными для изучения, но в них появился неизвестный для противника ключ, от которого существенно зависят применяемые преобразования информации [3-6].

Симметричные криптографические алгоритмы получили широкое распространение благодаря высокой производительности и эффективности реализации. Блочные шифры используются также как базовый элемент при построении других криптографических алгоритмов, таких как генераторы псевдослучайных последовательностей и функции хеширования. При разработке шифрсистем во многих случаях используют S-блоки, которые оказываются единственным элементом, определяющим нелинейность шифрующего преобразования и уровень его стойкости к криптографическим атакам. Стойкость криптосистемы зависит от сложности алгоритмов преобразования, от объема ключевого пространства и также метода реализации.

К основным методам анализа стойкости подобных алгоритмов можно отнести метод линейного криптоанализа. Линейный метод криптоанализа был предложен японским математиком Мицуру Мацуи. Он показал, как можно осуществить атаку на алгоритм шифрования DES, сократив сложность анализа до 2^{47} . В дальнейшем линейный криптоанализ был применен к другим алгоритмам. В настоящее время, наряду с дифференциальным криптоанализом, этот метод является одним из самых популярных методов для анализа блочных шифров [7]. Значения, получаемые в результате линейного криптоанализа, напрямую связаны с нелинейным преобразованием S-блока. Метод также является атакой на основе подобранного открытого текста. Метод использует линейные приближения,

предполагающие, с определенной вероятностью, что существует линейная зависимость между некоторыми битами открытого текста, шифртекста и ключа.

Материалы и методы

Краткое описание алгоритма шифрования. В предыдущих работах был предложен новый алгоритм симметричного блочного шифрования Qamal [8]. Структурная схема алгоритма зашифрования приведена на рисунке 1. Алгоритм поддерживает длины блока и ключей в 128, 192 и 256 бит. От длины блока и ключа зависит число раундов шифрования. Ключам K длиной в 128, 192 и 256 бит соответствует количество раундов шифрования 6, 8, 10. Все раунды, кроме последнего, идентичны. В последнем раунде дополнительно добавляется раундовый ключ.

Алгоритм зашифрования включает разработанные процедуры (примитивы) наложения ключа с помощью операции побитового сложения (XOR), S -блока замены, процедур перемешивания Mixer1 и Mixer2.

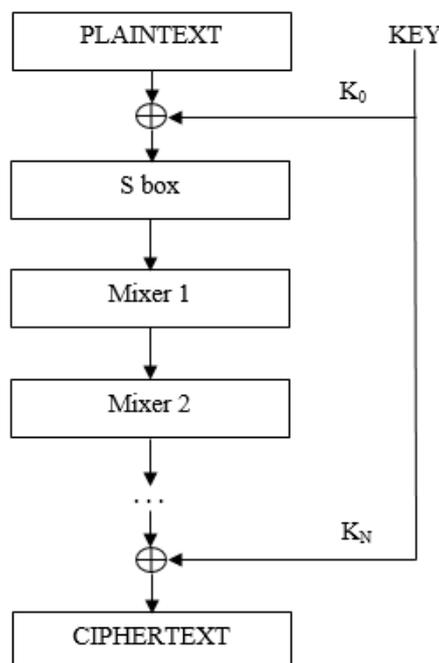


Рисунок 1 – Схема алгоритма зашифрования «Qamal»

Линейный криптоанализ алгоритма Qamal

Цель линейного криптоанализа – найти следующее «эффективное» линейное выражение для заданного алгоритма шифрования:

$$A[i_1, i_2, \dots, i_a] \oplus C[j_1, j_2, \dots, j_b] = K[k_1, k_2, \dots, k_c] \quad (1)$$

где $i_1, i_2, \dots, i_a, j_1, j_2, \dots, j_b$ и k_1, k_2, \dots, k_c обозначают фиксированные позиции битов, а уравнение (1) выполняется с вероятностью $p \neq 1/2$ для произвольно заданного открытого текста A , соответствующего шифртекста C и ключа K .

Линейный криптоанализ реализуется в два шага. Первый – построение соотношений между открытым текстом, шифртекстом и ключом, которые справедливы с высокой вероятностью. Второй – использование этих соотношений вместе с известными парами: открытый текст – шифртекст для получения битов ключа [9]. Для оценки линейного анализа используем следующие две леммы.

Лемма 1. (лемма о набегании знаков). Пусть $X_i (1 \leq i \leq n)$ – независимые случайные величины, значения которых равны 0 с вероятностью p_i или 1 с вероятностью $1 - p_i$. Тогда вероятность того, что $X_1 \oplus X_2 \oplus \dots \oplus X_n = 0$ равна

$$\frac{1}{2} + 2^{n-1} \prod_{i=1}^n (p_i - 1/2) \quad (2)$$

Лемма 2. Пусть N – количество заданных случайных открытых текстов и p – вероятность того, что уравнение (1) выполняется, и пусть $|p - 1/2|$ достаточно мало. Тогда вероятность успеха алгоритма 1 есть

$$\int_{-2\sqrt{N}|p-1/2|}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx.$$

На первом этапе, предшествующем проведению криптоанализа для полного алгоритма шифрования, рассмотрим каждое преобразование, используемое в алгоритме. Алгоритм шифрования использует операции побитового сложения (*XOR*) с ключом, подстановки (*S*-блок), преобразования *mixer1* и *mixer2*.

Сначала поясним применяемые обозначения. $a[i, j]$ – биты открытого текста, $c[i, j]$ – биты шифртекста, $x[i, j]$ – выходные биты подстановки *S*-блока, $y[i, j]$ – выходные биты преобразования *mixer1*, $z[i, j]$ – выходные биты преобразования *mixer2*. Здесь, i – показывает раунд, j – позиция бита.

Операцию побитового сложения ключа с входными данными можно не рассматривать отдельно, так как $z[i, j] \oplus k[i, j] = c[i, j]$ является линейной функцией.

S блок. В настоящее время большинство симметричных блочных шифров используют *S*-блоки. Их использование играет существенную роль для повышения криптостойкости алгоритмов шифрования. Во многих случаях это является единственным элементом, нарушающим линейную зависимость.

В ходе линейного криптоанализа *S*-блока прослеживаются всевозможные комбинации двоичных векторов на входе и выходе. Каждую пару векторов используют в качестве маски, которую накладывают на всевозможные пары вход-выход блока замены. Эти маски указывают нам биты входа и выхода соответственно, которые необходимо поразрядно сложить по модулю два, а затем подсчитать количество единиц. Полученные данные помещаем в таблицу и определяем элементы, имеющее наибольшее отклонение от числа всех возможных комбинаций входных векторов в двоичной системе, делённого пополам. Полученные результаты исследования *S*-блока рассматриваемого алгоритма шифрования имеют слишком большой объём, поэтому в таблице 1 приведены только самые маленькие и самые большие значения полученных данных. Для сравнения в этой таблице приведены результаты линейного и дифференциального криптоанализа *S*-блоков, используемых другими известными алгоритмами шифрования.

Таблица 1 – Интервал результатов линейного и дифференциального анализа *S* блоков

Наименование шифралгоритма	Виды криптоанализа	минимум	максимум
DES	Линейный	12	48
	Дифференциальный	0	16
ГОСТ 28147-89	Линейный	2	14
	Дифференциальный	0	8
ГОСТ Р 34.12-2015	Линейный	100	156
	Дифференциальный	0	8
AES-128 (Rijndael)	Линейный	111	145
	Дифференциальный	0	5
Qamal	Линейный	112	144
	Дифференциальный	0	8

В преобразовании *Mixer1* байты первого столбца складываются между собой по модулю 256. Затем содержимое первого столбца сдвигается вниз на одну позицию, а на освободившееся место помещается полученная сумма. Эта операция повторяется 4 раза. В итоге мы получаем новых 4 байта в первом столбце. Далее эта операция производится для трех остальных столбцов [8]. В таблице 2 приведены выражения для вычисления значений каждого из четырех байтов на каждом шаге алгоритма (без приведения по модулю 256).

Таблица 2 – Выражения преобразования mixer1 для каждого шага

шаг/ ряд	0	1	2	3	4
1	X_0	$X_0+X_1+X_2+X_3$	$2X_0+2X_1+2X_2+X_3$	$4X_0+4X_1+3X_2+2X_3$	$8X_0+7X_1+6X_2+4X_3$
2	X_1	X_0	$X_0+X_1+X_2+X_3$	$2X_0+2X_1+2X_2+X_3$	$4X_0+4X_1+3X_2+2X_3$
3	X_2	X_1	X_0	$X_0+X_1+X_2+X_3$	$2X_0+2X_1+2X_2+X_3$
4	X_3	X_2	X_1	X_0	$X_0+X_1+X_2+X_3$

Нетрудно убедиться, что в преобразовании mixer1 младший бит каждого байта описывается следующим образом: $y[i,120]=x[i,88]$, $y[i,112]=x[i,80]$, $y[i,104]=x[i,72]$, $y[i,96]=x[i,64]$, $y[i,88]=x[i,56]$, $y[i,80]=x[i,48]$, $y[i,72]=x[i,40]$, $y[i,64]=x[i,32]$, $y[i,56]=x[i,24]$, $y[i,48]=x[i,16]$, $y[i,40]=x[i,8]$, $y[i,32]=x[i,0]$. $y[i,24]=x[i,120] \oplus x[i,88] \oplus x[i,56] \oplus x[i,25]$, $y[i,16]=x[i,112] \oplus x[i,80] \oplus x[i,48] \oplus x[i,17]$, $y[i,8]=x[i,104] \oplus x[i,72] \oplus x[i,40] \oplus x[i,9]$, $y[i,0]=x[i,96] \oplus x[i,64] \oplus x[i,32] \oplus x[i,1]$.

Остальные биты зависят от суммы младших битов каждого байта, так как здесь выполняется числовое сложение. Поэтому в этом преобразовании целесообразнее проводить атаку, используя младшие биты каждого байта.

Преобразование mixer2 осуществляет умножение полиномов по модулю. То есть

$$z(x) = y(x) \times m(x) \bmod(p(x)).$$

Так как здесь $m(x)$ и $p(x)$ заранее известные фиксированные многочлены, выходные данные $z(x)$ можно представить линейными выражениями через входные данные $y(x)$.

$$z[i,127]=y[i,96] \oplus y[i,98] \oplus y[i,100] \oplus y[i,106] \oplus y[i,110] \oplus y[i,112] \oplus y[i,114] \oplus y[i,115] \oplus y[i,116] \oplus y[i,118] \oplus y[i,119] \oplus y[i,126] \oplus y[i,125] \oplus y[i,124]$$

$$z[i,126]=y[i,97] \oplus y[i,99] \oplus y[i,105] \oplus y[i,109] \oplus y[i,111] \oplus y[i,113] \oplus y[i,114] \oplus y[i,115] \oplus y[i,117] \oplus y[i,118] \oplus y[i,125] \oplus y[i,127] \oplus y[i,124] \oplus y[i,123]$$

...

$$z[i,1]=y[i,1] \oplus y[i,3] \oplus y[i,7] \oplus y[i,10] \oplus y[i,12] \oplus y[i,16] \oplus y[i,20] \oplus y[i,22] \oplus y[i,24] \oplus y[i,30] \oplus y[i,2] \oplus y[i,5] \oplus y[i,8] \oplus y[i,11] \oplus y[i,14] \oplus y[i,17] \oplus y[i,21] \oplus y[i,23] \oplus y[i,29]$$

$$z[i,0]=y[i,0] \oplus y[i,2] \oplus y[i,5] \oplus y[i,6] \oplus y[i,8] \oplus y[i,9] \oplus y[i,11] \oplus y[i,14] \oplus y[i,15] \oplus y[i,17] \oplus y[i,18] \oplus y[i,19] \oplus y[i,21] \oplus y[i,23] \oplus y[i,29]. \quad (3)$$

2-й этап. С учетом полученных результатов проведем анализ для полного алгоритма. Как показано выше, младшие биты каждого байта преобразователя mixer1 эффективны для линейного криптоанализа. Поэтому для анализа выберем один из этих битов.

$$y[1,48]=x[1,16]$$

В свою очередь $x[1,16]$ является выходным битом S-блока. Поэтому рассмотрим маску 1111111x000000001.

Как показано в таблице 1, наибольшее отклонение вероятности составляет 0,0625, поскольку число значений, полученных с помощью линейного криптоанализа, лежит в промежутке от 112 до 144, а соответственно вероятности составляют от 0,4375 до 0,5625. Поскольку отклонение наибольшего и наименьшего значений от 128 равны, из указанной маски можем выбрать либо 112, либо 144. Поэтому выбираем следующие маски с вероятностью 144/256:

$$00011101x000000001, 10101000x000000001, 10101100x000000001, 10110001x000000001, 10110101x000000001.$$

Тогда каждое из следующих уравнений верно с вероятностью 9/16:

$$a[1,16] \oplus a[1,18] \oplus a[1,19] \oplus a[1,20] \oplus k[0,16] \oplus k[0,18] \oplus k[0,19] \oplus k[1,20] = x[1,16],$$

$$a[1,19] \oplus a[1,21] \oplus a[1,23] \oplus k[0,19] \oplus k[0,21] \oplus k[0,23] = x[1,16],$$

$$a[1,18] \oplus a[1,19] \oplus a[1,21] \oplus a[1,23] \oplus k[0,18] \oplus k[0,19] \oplus k[1,21] \oplus k[0,23] = x[1,16],$$

$$a[1,16] \oplus a[1,20] \oplus a[1,21] \oplus a[1,23] \oplus k[0,16] \oplus k[0,20] \oplus k[1,21] \oplus k[0,23] = x[1,16],$$

$$a[1,16] \oplus a[1,18] \oplus a[1,20] \oplus a[1,21] \oplus a[1,23] \oplus k[0,16] \oplus k[0,18] \oplus$$

$$k[1,20] \oplus k[0,21] \oplus k[0,23] = x[1,16].$$

Поскольку вероятности всех уравнений одинаковы, выберем из них 2-е уравнение с наименьшим числом переменных. Так как $[1,48] = x[1,16]$,

$$a[1, 19] \oplus a[1, 21] \oplus a[1, 23] \oplus k[0, 19] \oplus k[0, 21] \oplus k[0, 23] = y[1,48].$$

Поскольку выходной бит $y[1,48]$ преобразования $mixer1$ является входным битом для $mixer2$, из системы уравнений (3) выделяем те уравнения, в которых участвует этот бит. Всего таких уравнений тринадцать. Из них выбираем следующее уравнение с наименьшим числом переменных:

$$z[1, 35] = y[1, 41] \oplus y[1, 42] \oplus y[1, 45] \oplus y[1, 48] \oplus y[1, 49] \oplus y[1, 52] \oplus y[1, 53] \oplus y[1, 58] \oplus y[1, 54] \oplus y[1, 61] \oplus y[1, 63]$$

Как показано выше, в зависимости от характеристики S-блока, вероятность каждого выражения $y[1, j]$, $j=41, 42, 45, 48, 49, 52, 53, 58, 54, 61, 63$ составляет от 0,4375 до 0,5625. Целью линейного криптоанализа является поиск уравнений, для которых отклонение вероятности от 0,5 является как можно большим. Поэтому вероятность уравнения $z(1, 35)$ можно оценить, выбирая каждое выражение $y[1, j]$ с наибольшим отклонением для оценки алгоритма и используя приведенные выше леммы. Этот метод будет описан ниже. Для оценки снизу предположим, что в уравнении $z[1,35]$ можно найти случай, когда все выражения, за исключением $y[1,42]$, (или их сумма) равны 0 с вероятностью 1. Т.е. пусть

$$y[1, 41] \oplus y[1, 45] \oplus y[1, 49] \oplus y[1, 52] \oplus y[1, 53] \oplus y[1, 58] \oplus y[1, 54] \oplus y[1, 61] \oplus y[1, 63] = 0.$$

Тогда, учитывая, что после преобразования $mixer2$ добавляется раундовый ключ $z[1, 35] = a[1, 19] \oplus a[1, 21] \oplus a[1, 23] \oplus k[0, 19] \oplus k[0, 21] \oplus k[0, 23] \oplus k[1, 35]$, уравнение верно с вероятностью $9/16$.

При переходе ко 2-му раунду рассмотрим маску $00001000x11111111$ из таблицы анализа S-блоков, поскольку бит $z[1, 35]$ занимает 4-е место в соответствующем байте. 112 встречается в масках $00001000x 00101000$, $00001000x 11101110$, а 144 встречается в $00001000x 00010000$, $00001000x 11000110$, $00001000x 11010110$. Из полученных значений легко увидеть, что наиболее эффективным уравнением является $z[1,35] \oplus k[1,35] = x[2,36]$. Вероятность того, что это уравнение верно, равно $(9/16)^2$.

Далее рассмотрим преобразование $mixer1$, которое имеет на входе $x[2,36]$. Для этого опишем преобразование $mixer1$ для четвертого столбца 2-го раунда.

Таблица 3 – Преобразование $mixer1$ для 1-ой строки 4-го столбца

Биты 1-ой строки	$Y_{[2,103]}$	$Y_{[2,102]}$	$Y_{[2,101]}$	$Y_{[2,100]}$	$Y_{[2,99]}$	$Y_{[2,98]}$	$Y_{[2,97]}$	$Y_{[2,96]}$
$8Y_0$	$X_{[2,100]}$	$X_{[2,99]}$	$X_{[2,98]}$	$X_{[2,97]}$	$X_{[2,96]}$	0	0	0
$7Y_1$	*	*	*	*	*	*	$X_{[2,66]}$ + $X_{[2,65]}$	$X_{[2,64]}$
$6Y_2$	*	$* X_{[2,36]}$ + $X_{[2,37]}$	$* X_{[2,35]}$ + $X_{[2,36]}$	$* X_{[2,34]}$ + $X_{[2,35]}$	$* X_{[2,33]}$ + $X_{[2,34]}$	$X_{[2,32]}$ + $X_{[2,33]}$	$X_{[2,32]}$	0
$4Y_3$	x_5	x_4	x_3	x_2	x_1	x_0	0	0
$8Y_0 + 7Y_1 + 6Y_2 + 4Y_3$	*	*	*	*	*	*		$X_{[2,64]}$

Таблица 4 – Преобразование mixer1 для 2-ой строки 4-го столбца

Биты 2-ой строки	Y _[2,71]	Y _[2,70]	Y _[2,69]	Y _[2,68]	Y _[2,67]	Y _[2,66]	Y _[2,65]	Y _[2,64]
4Y ₀	X _[2,101]	X _[2,100]	X _[2,99]	X _[2,98]	X _[2,97]	X _[2,96]	0	0
4Y ₁	X _[2,69]	X _[2,68]	X _[2,67]	X _[2,66]	X _[2,65]	X _[2,64]	0	0
3Y ₂	* X _[2,38] + X _[2,39]	* X _[2,37] + X _[2,38]	* X _[2,36] + X _[2,37]	X _[2,35] + X _[2,36]	X _[2,4] + X _[2,5]	X _[2,33] + X _[2,34]	X _[2,32] + X _[2,33]	X _[2,32]
2Y ₃	X _[2,6]	X _[2,5]	X _[2,4]	X _[2,3]	X _[2,2]	X _[2,1]	X _[2,0]	0
4Y ₀ +4Y ₁ + +3Y ₂ +2Y ₃	*	*	*	*	*	*	X _[2,32] + X _[2,33] + X _[2,0]	X _[2,32]

Таблица 5 – Преобразование mixer1 для 3-ей строки 4-го столбца

Биты 3-ей строки	Y _[2,39]	Y _[2,38]	Y _[2,37]	Y _[2,36]	Y _[2,35]	Y _[2,34]	Y _[2,33]	Y _[2,32]
2Y ₀	X _[2,102]	X _[2,101]	X _[2,100]	X _[2,99]	X _[2,98]	X _[2,97]	X _[2,96]	0
2Y ₁	X _[2,70]	X _[2,69]	X _[2,68]	X _[2,67]	X _[2,66]	X _[2,65]	X _[2,64]	0
2Y ₂	X _[2,38]	X _[2,37]	X _[2,36]	X _[2,35]	X _[2,34]	X _[2,33]	X _[2,32]	0
1Y ₃	X _[2,7]	X _[2,6]	X _[2,5]	X _[2,4]	X _[2,3]	X _[2,2]	X _[2,1]	X _[2,0]
2Y ₀ +2Y ₁ + +2Y ₂ +Y ₃	*	*	*	*	*	*	*	X _[2,0]

Таблица 6 – Преобразование mixer1 для 4-ой строки 4-го столбца

Биты 4-ой строки	Y _[2,7]	Y _[2,6]	Y _[2,5]	Y _[2,4]	Y _[2,3]	Y _[2,2]	Y _[2,1]	Y _[2,0]
Y ₀	X _[2,103]	X _[2,102]	X _[2,101]	X _[2,100]	X _[2,99]	X _[2,98]	X _[2,97]	X _[2,96]
Y ₁	X _[2,71]	X _[2,70]	X _[2,69]	X _[2,68]	X _[2,67]	X _[2,66]	X _[2,65]	X _[2,64]
Y ₂	X _[2,39]	X _[2,38]	X _[2,37]	X _[2,36]	X _[2,35]	X _[2,34]	X _[2,33]	X _[2,32]
Y ₃	X _[2,7]	X _[2,6]	X _[2,5]	X _[2,4]	X _[2,3]	X _[2,2]	X _[2,1]	X _[2,0]
Y ₀ +Y ₁ + +Y ₂ +Y ₃	*	*	*	*	*	*	*	*

В таблицах 3-6 значения таблицы 2 записаны для 4-го столбца. Значения ячеек, в которых содержится «*», либо невозможно точно определить, так как они зависят от младших разрядов, либо являются менее важными. Однако мы можем вычислить вероятность этих значений.

Выходные биты преобразования mixer1, в которых присутствует (или участвует) x_[2,36]: y_[2,103], y_[2,102], y_[2,101], y_[2,71], y_[2,70], y_[2,69], y_[2,68], y_[2,39], y_[2,38], y_[2,37], y_[2,7], y_[2,6], y_[2,5], y_[2,4]. Чем ближе к младшему разряду расположены эти биты, тем легче вычислить вероятность значений. Наименьшим разрядом указанных выше битов является 5-ый разряд. В то же время, чем ближе к старшему разряду переносится 1 из младших разрядов, тем ближе вероятность к 0,5[10]. Как упомянуто выше, для анализа отклонение вероятности от 0,5 получаемых уравнений является как можно большим. Поэтому из полученных битов выбираем y_[2,68] (таблица 4).

Вычислим вероятность того, что верно следующее уравнение:

$$y[2,68]=x[2,98] \oplus x[2,66] \oplus x[2,35] \oplus x[2,36] \oplus x[2,3] \oplus 1.$$

Вероятность отсутствия переноса 1 является противоположным событием. Таким образом, достаточно найти вероятность любого из этих событий. Вычислим вероятность того, что из младших разрядов производится перенос 1. Разряды к $y[2,68]$ переносятся из $y[2,67]$ и $y[2,66]$. В свою очередь, к $y[2,66]$ может переноситься разряд из $y[2,65]$. Чтобы рассчитать их вероятности, сначала составим следующие уравнения.

$$y[2,67] = x[2,97] \oplus x[2,65] \oplus x[2,35] \oplus x[2,34] \oplus x[2,2] \oplus r[67],$$

$$y[2,66] = x[2,96] \oplus x[2,64] \oplus x[2,34] \oplus x[2,33] \oplus x[2,1] \oplus r[66],$$

$$y[2,65] = x[2,33] \oplus x[2,32] \oplus x[2,1]$$

здесь, $r[66]$ и $r[67]$ равны 0 или 1, в зависимости от переноса разряда.

Вычислим вероятность, которая нам нужна.

$$P = P(y_{[2,67]}^+ \rightarrow y_{[2,68]}) \times P(y_{[2,66]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) + P(y_{[2,67]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) \times P(y_{[2,66]}^+ \rightarrow y_{[2,68]})$$

Здесь $P(y_{[2,i]}^+ \rightarrow y_{[2,j]})$ и $P(y_{[2,i]}^- \rightarrow y_{[2,j]})$ обозначает соответственно вероятность переноса или отсутствия переноса разряда к $y_{[2,j]}$ из $y_{[2,i]}$. $y_{[2,66]}$ и $y_{[2,67]}$ состоят из пяти переменных. Поэтому из таблицы 7 легко увидеть эти вероятности. Например,

$$P(y_{[2,66]}^+ \rightarrow y_{[2,67]}) = P(y_{[2,67]}^+ \rightarrow y_{[2,68]}) = \frac{20}{32}, P(y_{[2,66]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) = \frac{6}{32},$$

$$P(y_{[2,67]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) = \frac{12}{32}, P(y_{[2,66]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) = \frac{26}{32} \text{ и т.д.}$$

Таблица 7 – Возможности переноса разряда для выражения из пяти переменных

Возможн. расстановки битов	На сколько позиц. перен.	Возможн. расстановки битов	На сколько позиц. перен.	Возможн. расстановки битов	На сколько позиц. перен.	Возможн. расстановки битов	На сколько позиц. перен.
00000	-	01000	-	10000	-	11000	1
00001	-	01001	1	10001	1	11001	1
00010	-	01010	1	10010	1	11010	1
00011	1	01011	1	10011	1	11011	2
00100	-	01100	1	10100	1	11100	1
00101	1	01101	1	10101	1	11101	2
00110	1	01110	1	10110	1	11110	2
00111	1	01111	2	10111	2	11111	2

$y[2,67]$ зависит от переноса разряда из $y[2,66]$, а $y[2,66]$ в свою очередь зависит от $y[2,65]$. Поскольку уравнение $y[2,65] = x[2,33] + x[2,32] + x[2,0]$ состоит из 3-х переменных, легко убедиться, что вероятность переноса из него единицы в $y[2,66]$ равна $1/2$. Здесь это не показано. Учитывая это, вероятность, которую мы ищем, по формуле полной вероятности, равна:

$$P = P(y_{[2,67]}^+ \rightarrow y_{[2,68]}) \times P(y_{[2,66]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) + P(y_{[2,67]}^- \rightarrow y_{[2,68]}) \times P(y_{[2,66]}^+ \rightarrow y_{[2,68]}) =$$

$$= \left[\frac{1}{2} \times \frac{20}{32} \times \frac{20}{32} + \frac{1}{2} \times \frac{6}{32} \times \frac{20}{32} \right] \times 2 \times \left[\frac{1}{2} \times \frac{6}{32} + \frac{1}{2} \times \frac{6}{32} \right] + \left[\frac{1}{2} \times \frac{20}{32} \times \frac{12}{32} + \frac{1}{2} \times \frac{6}{32} \times \frac{12}{32} \right] \times 2$$

$$\times \left[\frac{1}{2} \times \frac{26}{32} + \frac{1}{2} \times \frac{26}{32} \right] = \frac{351}{2^{10}}$$

Переходим к преобразованию mixer2 во втором раунде. Общее количество всех уравнений со входом $y[2,68]$ равно 13. Среди этих уравнений нет уравнений с особенностями. Поэтому выберем одно из них. Далее, как и в предыдущем раунде предполагая, что сумма остальных значений, кроме $y[2,68]$, равна нулю, продолжаем анализ.

Подводя итоги анализа 2 раунда, вероятность полученного уравнения по лемме 1 равна:

$$p = \frac{1}{2} + 2^{2-1} \times \left(\frac{9}{16} - \frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{9}{16} - \frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{351}{2^{10}} - \frac{1}{2}\right) \approx \frac{1}{2} + 2 \times \frac{1}{2^4} \times \frac{1}{2^4} \times \left(-\frac{1}{2^{2,5}}\right) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2^{9,5}} \approx 0,4986$$

$N = \left(\frac{1}{0,5+2^{-9,5}-0,5}\right)^2 = 2^{19}$, здесь N – количество необходимых пар открытых текстов для решения полученного уравнения с вероятностью 0,977. Т. е. после второго раунда для того, чтобы найти некоторые элементы ключа, необходимо 2^{19} пар открытых текстов и вероятность того, что полученное уравнение истинно с вероятностью 0,4986.

Таким же образом, используя эти результаты, продолжаем линейный криптоанализ для полных 10 раундов.

$$p = \frac{1}{2} + 2^{9-1} \times \left(\frac{9}{16} - \frac{1}{2}\right) \times \left[\left(\frac{9}{16} - \frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{351}{2^{10}} - \frac{1}{2}\right)\right]^9 \approx \frac{1}{2} + 2^8 \times \frac{1}{2^4} \times \frac{1}{2^{36}} \times \left(-\frac{1}{2^{22,5}}\right) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2^{54,5}} \approx 0,4999$$

$N = \left(\frac{1}{0,5+2^{-54,5}-0,5}\right)^2 = 2^{109}$. Итак, чтобы найти 10 элементов ключа (после каждого раунда добавляется один элемент ключа) с вероятностью – 0,977, необходимо 2^{109} пар открытых текстов. Но следует обратить внимание, что здесь не учитывалось преобразование mixer 2. Как результат предварительно поставленного условия, на выходе mixer2 очень трудно найти уравнения (вероятность близка к нулю), за исключением выбранных элементов, сумма остальных элементов которого равна нулю. При этом общее количество переборov не менее 2^{109} .

На следующей стадии предположим, что после каждого раунда находим в преобразовании mixer2 уравнения с наименьшим числом переменных. В mixer2 все выходы можно описать линейным уравнением (нужно только выбрать эффективные уравнения для анализа). Среди этих уравнений участвуют, по крайней мере, 10 переменных. Например, уравнение

$$z[i,016]=y[i,1] \oplus y[i,2] \oplus y[i,3] \oplus y[i,5] \oplus y[i,7] \oplus y[i,13] \oplus y[i,19] \oplus y[i,21] \oplus y[i,27] \oplus y[i,29]$$

– является уравнением с наименьшим количеством переменных. Как уже упоминалось ранее, вероятность каждого $y[i,j]$, участвующего в качестве входной переменной в преобразовании mixer2, больше $\frac{9}{16}$. Тогда вероятность уравнения, которое мы получим после 4-го раунда, равна:

$$p = \frac{1}{2} + 2^{2-1} \times \left(\frac{9}{16} - \frac{1}{2}\right) \times \left[\left(\frac{9}{16} - \frac{1}{2}\right)^{10}\right]^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^{83}} \approx 0,5, N = \left(\frac{1}{0,5+2^{83}-0,5}\right)^2 = 2^{186}$$

Следовательно, можно сделать вывод, что алгоритм является устойчивым к линейному криптоанализу после 4-го раунда.

Вывод

Многие алгоритмы шифрования используют S-блок в качестве единственного преобразования для противодействия линейному криптоанализу. В рассматриваемом алгоритме Qamal кроме него, несмотря на вышеуказанные недостатки, добавлено преобразование mixer1, которое также усложняет линейную связь-

Для того, чтобы S-блок был стойким к линейному криптоанализу, элементы матрицы, полученные в результате линейного анализа, должны принимать значения, близкие к половине количества всех возможных комбинаций входных векторов в двоичной системе. Поскольку таблица, полученная в ходе линейного криптоанализа S-блока, используемого алгоритмом Qamal, имеет размер 256x256, ее элементы должны принимать значения, близкие к 128. Как показано в анализе, используемый S-блок полностью удовлетворяет данному условию.

На основе полученных результатов криптоанализа можно утверждать, что рассматриваемый алгоритм устойчив к линейному криптоанализу.

Работа выполнена в рамках программы целевого финансирования BR05236757 «Разработка программных и программно-аппаратных средств для криптографической защиты информации при ее

передаче и хранении в инфокоммуникационных системах и сетях общего назначения» Министерства образования и науки Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kamol Lek, Naruemol Rajapakse, *Cryptography: Protocols, Design, and Applications*. - Nova Science Publishers, 2012. – 242p.
- [2] Keith Martin, *Everyday Cryptography: Fundamental Principles and Applications*. - Oxford University Press, 2012. – 560p.
- [3] Гатченко Н.А., Исаев А.С., Яковлев А.Д. *Криптографическая защита информации*. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 142с.
- [4] Camel Tanougast, *Progress in Data Encryption Research*. – Nova Science Publishers Inc, - 2013. – 158p.
- [5] Ященко В. В. *Введение в криптографию*. 4-е изд., доп. М.: МЦНМО, 2012. – 348 с.
- [6] Douglas R. Stinson, Maura B. Paterson, *Cryptography: Theory and Practice*, – Boca Raton - CRC Press, Taylor & Francis Group, - 2019. – 580p.
- [7] Нильс Фергюсон, Брюс Шнайер. *Практическая криптография*. – М.: Диалектика, 2004. — 432 с.
- [8] Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка программных и программно-аппаратных средств для криптографической защиты информации при ее передаче и хранении в инфокоммуникационных системах и сетях общего назначения», 2018 г., № гос. регистрации 0118PK01064.
- [9] Mitsuru Matsui *Linear Cryptanalysis Method for DES Cipher*, T. Helleseht (Ed.): *Advances in Cryptology - EUROCRYPT '93*, LNCS 765, pp. 386-397, 1994. © Spnnger-Verlag Berlin Heidelberg 1994.
- [10] Бияшев Р.Г., Капалова Н.А., Алғазы К.Т., Дюсенбаев Д.С., Хомпыш А., *Криптоанализ генератора псевдослучайных последовательностей и ее модификация // Вестник КазНУТУ*. – 2019. – №3. – С. 179-185.

REFERENCES

- [1] Kamol Lek, Naruemol Rajapakse, *Cryptography: Protocols, Design, and Applications*. - Nova Science Publishers, 2012. – 242p.
- [2] Keith Martin, *Everyday Cryptography: Fundamental Principles and Applications*. - Oxford University Press, 2012. – 560p.
- [3] Gatchenko N.A., Isayev A.S., Yakovlev A.D. *Kriptograficheskaya zashchita informatsii* [in Russian: Cryptographic protection of information], SPb, 2012. – 142p.
- [4] Camel Tanougast, *Progress in Data Encryption Research*. - Nova Science Publishers Inc, - 2013. – 158p.
- [5] Yashchenko V.V., *Vvedeniye v kriptografiyu*, 4-ye izd [in Russian: Introduction to Cryptography, 4th ed.], Moscow: MCCNMO, 2012. - 348 p
- [6] Douglas R. Stinson, Maura B. Paterson, *Cryptography : Theory and Practice*, - Boca Raton - CRC Press, Taylor & Francis Group, - 2019. – 580p.
- [7] Nil's Fergyuson, Bryus Shnayyer. *Prakticheskaya kriptografiya* [in Russian: Practical cryptography] — Moscow: Dialektika, 2004. — 432p
- [8] Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote «Razrabotka programmnykh i programmno-apparatnykh sredstv dlya kriptograficheskoy zashchity informatsii pri yeye peredache i khraneniі v infokommunikatsionnykh sistemakh i setyakh obshchego naznacheniya», 2018, state number registration 0118PK01064..
- [9] Mitsuru Matsui *Linear Cryptanalysis Method for DES Cipher*, T. Helleseht (Ed.): *Advances in Cryptology - EUROCRYPT '93*, LNCS 765, pp. 386-397, 1994. © Spnnger-Verlag Berlin Heidelberg 1994.
- [10] Biyashev R.G., Kapalova N.A., Algazy K.T., Dyusenbayev D.S., Khompysh A., *Kriptoanaliz generatora psevdosluchaynykh posledovatel'nostey i yeye modifikatsiya* [in Russian: Cryptanalysis of the pseudorandom sequence generator and its modification], Bulletin of KazNRTU, – 2019. - №3. - 179-185p.

QAMAL ШИФРЛАУ АЛГОРИТМІНЕ ЖҮРГІЗІЛГЕН СЫЗЫҚТЫҚ КРИПТОТАЛДАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Р. Бияшев¹, К. Алгазы^{1,2,*}, Д. Дюсенбаев¹, К. Сакан¹

¹Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы қ., Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті., Алматы қ., Қазақстан

e-mail: kunbolat@mail.ru, dimash_dds@mail.ru

Аңдатпа. Ақпаратты өңдеу, сақтау және ақпарат алмасу қазіргі қоғамдағы маңызды процесс болып табылады. Бұл мақалада бұрын әзірленген Qamal шифрлау алгоритміне жүргізілген сызықтық криптоталдаулар нәтижелері көрсетілген. Зерттеу жұмыстары екі кезеңнен тұрады. Бірінші кезеңде, алгоритмде қолданылған түрлендірулерге жеке-жеке талдау жасалса, екінші кезеңде осы нәтижелерді ескере отырып, толық алгоритмге талдау жүргізілген. Жұмыс нәтижесі арқылы аталған алгоритмнің криптоталдауларға беріктілік деңгейі баяндалған.

Түйін сөздер: сызықтық криптоталдау, S-блок, сызықты теңдеулер, шифрлау алгоритмінің беріктілігі.

FINDINGS OF LINEAR CRYPTANALYSIS OF THE QAMAL CIPHER

R. Biyashev¹, K. Algazy^{1,2,*}, D. Dyuisenbaev¹, K. Sakan¹

¹Institute of Information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

e-mail: kunbolat@mail.ru, dimash_dds@mail.ru

Abstract. Processing, storage and transmission of information is an important process in modern society. The results of linear cryptanalysis of the previously developed Qamal encryption algorithm are presented in this article. The study consists of two stages. At the first stage, the analysis was carried out separately for each transformation used in the algorithm. At the second stage, taking into account these results, the analysis was carried out on a complete encryption algorithm. The stability of this algorithm for linear cryptanalysis is shown as a result of work.

Keywords: linear cryptanalysis, cryptographic, encryption, S-box, cryptographic strength..



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

FTAMP 50.09.45

ARDUINO ПЛАТФОРМАСЫ НЕГІЗІНДЕ ҚОЛ ЖЕТКІЗУДІ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖӘНЕ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ СЫЗБАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Г.О. Жақсылық*, Ж.К. Кулмагамбетова

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан
e-mail: sezim.zhaksylykova@mail.ru, kulma_zh@mail.ru

Аңдатпа. Бұл мақалада қол жеткізуді бақылау және басқару жүйесін әзірлеу міндеттері қойылып және оның контроллерінің құрылымдық сызбасы мен оның жұмыс істеу процесінің функционалдық құрылымының сызбасын жасау мәселелері қарастырылады. Сондай-ақ қол жеткізуді бақылау және басқару жүйесінің контроллерінің электрлік принципалды компоненттерінің сызбалары жасалды, олардың шеңберінде әзірленген қызметтер іске асырылады.

Түйін сөздер: қол жеткізуді бақылау және басқару жүйелері, идентификация, оқу құрылғылары, атқарушы құрылғылар, контроллер, arduino

Кіріспе

Қол жеткізуді бақылау және басқару жүйелері (ҚББЖ) нарықта ұсынылатын техникалық қауіпсіздік жүйелерінің тізбесінде өз орнын берік алды. Күзет-өрт сигнализациясымен және телевизиялық бақылау жүйелерімен бірге олар ғимараттардың қауіпсіз жүйесін бірыңғай кешенге біріктіруде негізгі база болып табылады.

XXI ғасырдың басында қауіпсіздікті қамтамасыз етудің техникалық құралдары нарығында қол жеткізуді бақылау мен басқарудың көптеген жүйелері (ҚББЖ) пайда болды. Қазақстан Республикасы Индустрия және сауда министрлігі Техникалық реттеу және метрология комитеті төрағасының 2007 жылғы 24 желтоқсандағы № 691 бұйрығымен бекітіліп, қолданысқа енгізілген МЕМСТ 51241-98 «Қол жеткізуді бақылау және басқару құралдары мен жүйелері. Жіктелуі. Жалпы техникалық талаптар. Сынау әдістері. МОД» мынадай анықтама береді: «Қол жеткізуді бақылау және басқару жүйелері (ҚББЖ) – бақылау мен басқарудың техникалық, ақпараттық, бағдарламалық және пайдаланушылық қосарлануына ие құралдарының жиынтығы»[1]. МЕМСТ-та қол жеткізуді бақылау және басқару деп мыналар түсініледі: «Адамдардың көлік және үй-жайдың (-дан) басқа объектілеріне, ғимаратқа, аймақтар мен аумақтарға қол жеткізулеріне рұқсат етуге және шектеуге бағытталған іс-шаралар кешені».

Жоғарыда көрсетілген нормативтік-техникалық құжат ҚББЖ-нің әр түрлі түрлерінің ерекше сипаттамаларының болуын және шектеуді көздемейтін жалпылама анықтама береді. Егер жүйе классификациясының негізіне оларды жүзеге асыру тәсілін алсақ, онда жүйені екі топты бөліп көрсетуге болады: контроллерлік және бағдарламалық ҚББЖ. Одан әрі біз жүйені таңдау кезінде ҚББЖ-ді іске асыру технологиясына ерекше назар аудару қажет екеніне көз жеткіземіз. Кез-келген ҚББЖ тиісті адамдарды автоматты түрде өткізіп, тыйым салынған адамдарды өткізбей, сол арқылы қызметкерлер мен келушілердің кәсіпорын аумағында жылжуын бақылап отыруға арналған. ҚББЖ кез келген уақытта жағдайды, тәртіпті, қызметкерлер мен келушілердің қауіпсіздігін бақылауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ҚББЖ еңбек тәртібін бақылауға, қызметкерлердің өз жұмыс уақытын пайдалану есебін жүргізуге және т.б. мүмкіндік береді.

Осы жұмыс мақсатына, таңдалған көрсеткіштермен және қалыптасқан критерийлер жүйесіне сәйкес келесі міндеттер қойылды.

Берілгені:

1. Қол жеткізуді бақылау және басқару жүйесі (ҚББЖ).
2. Arduino бағдарламалық-техникалық платформасы (БТП).

Қажет:

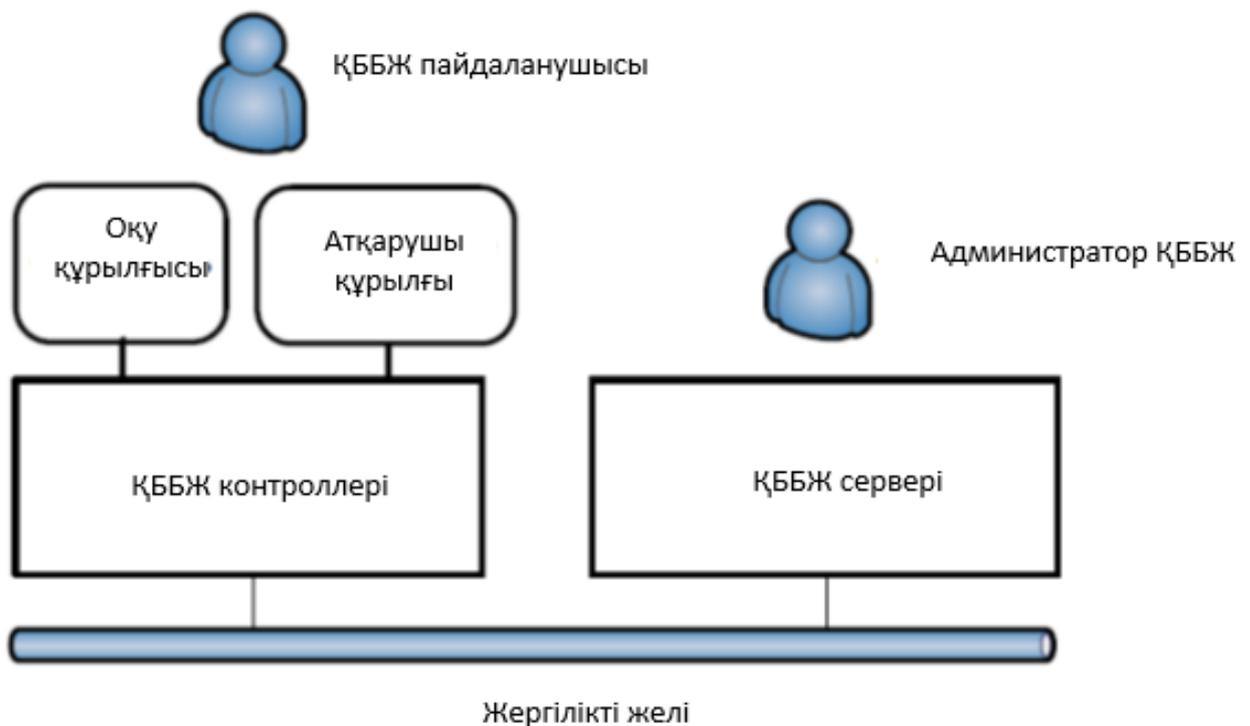
Талап етілетін тиімділікті қамтамасыз ететін Arduino БТП ұсынатын функциялар базасында қол жеткізуді бақылау және басқару жүйесінің құрылымдық және функционалдық сызбасын әзірлеу

Негізгі бөлім

1. Өзара әрекеттесетін компоненттер құрамын және ақпарат алмасу деректерінің форматын анықтау

Берілген тапсырма қойылымна сәйкес, жұмыста желілік ҚББЖ контроллерлері мен Arduino контроллерінің функционалдық мүмкіндіктерін зерттеулер негізінде, желілік ҚББЖ құрамында Arduino платформасы негізінде контроллердің жұмыс істеу процесінің сызбасы әзірленді [2].

Жалпы түрде Arduino платформасы негізіндегі контроллерді желілік ҚББЖ құрамына енгізу сызбасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Контроллерді желілік ҚББЖ құрамына енгізу сызбасы

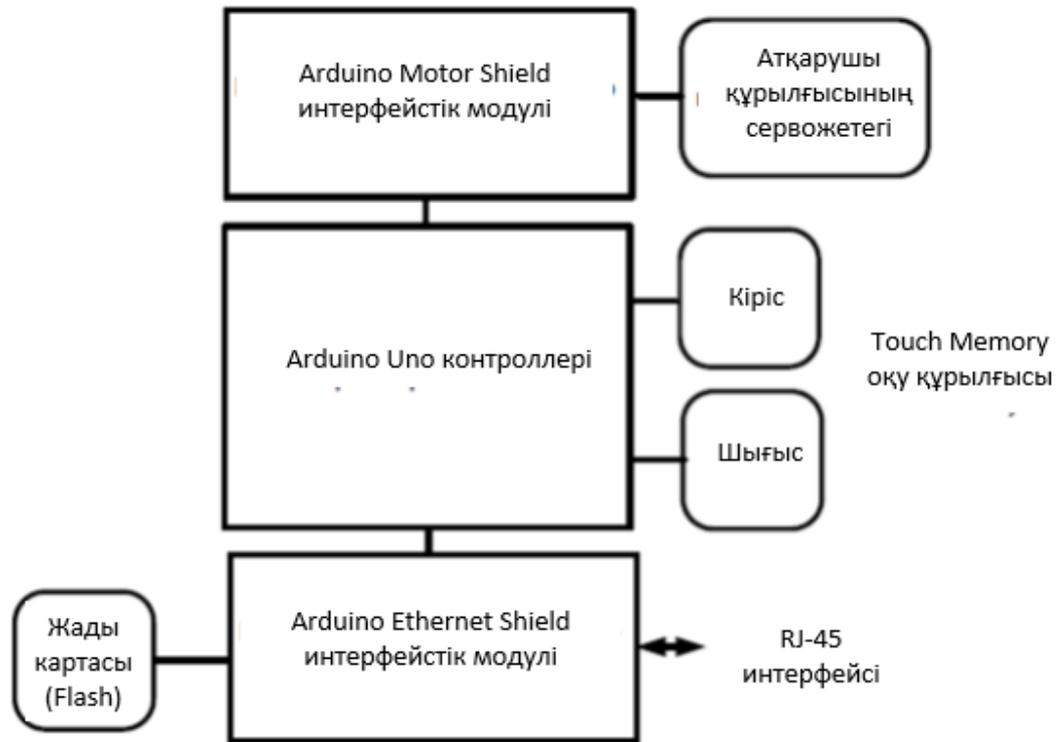
Контроллердің желілік ҚББЖ құрамында жұмыс істеу процесі келесілермен байланысты екендігі 1- суреттен көрінеді:

- оқу құрылғысынан ҚББЖ пайдаланушысының идентификаторын алумен;
- ҚББЖ атқарушы құрылғысына басқару сигналдарын беру;
- ҚББЖ серверімен деректер алмасу.

Жобаланатын ҚББЖ контроллері 1-суреттегі сызда көрсетілгендей ҚББЖ-сінің желілік және электромеханикалық компоненттерімен өзара әрекеттесетіндіктен, Arduino контроллерінің базалық сызбасына қосылатын интерфейстік модульдер мен датчиктердің құрамын анықтау қажет.

Arduino контроллерінің перифериялық компоненттерін зерттеу желілік ҚББЖ-нің қажетті функционалдығын іске асыруды қамтамасыз ететін оның ықтимал датчиктерін анықтауға мүмкіндік берді.

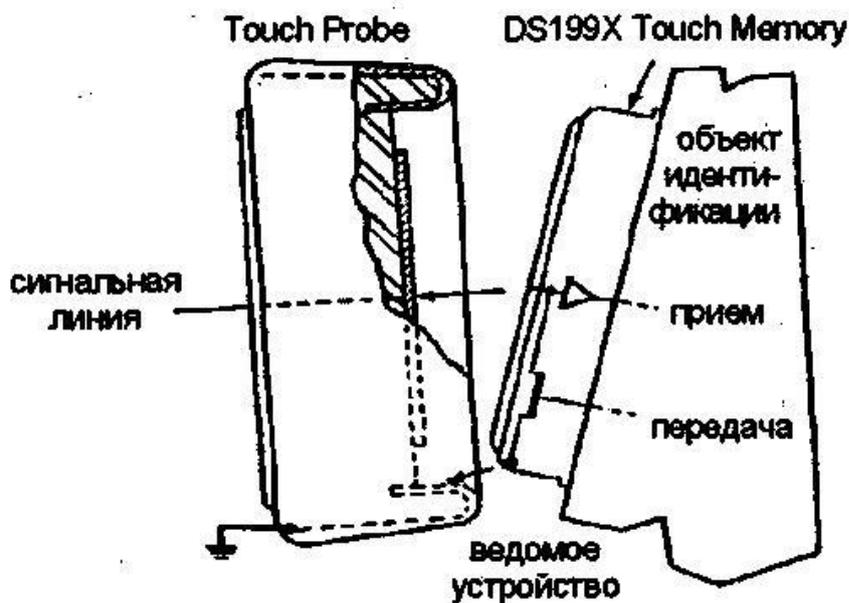
Қажетті датчиктер мен интерфейстік модульдер құрамы сызба түрінде 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Arduino платформасы негізіндегі ҚББЖ контроллерінің датчиктер мен интерфейстік модульдерінің құрамы

Оқу құрылғысы ретінде «Dallas Semiconductor» американдық компаниясының DS199X тобындағы "Touch Memory" сауда белгісі бар идентификаторлары қолданылғандығын 2 – суреттен көруге болады. Touch Memory құралдарынан деректерді оқу үшін диэлектрикпен бөлінген екі қалыпталған металл бөлшектерден тұратын механикалық түйін болып табылатын Touch Probe (зонд) контактілі құрылғысы қолданылады [3]. Зондтың ұшының пішіні аспаптың дөңгелек корпусымен дәл жанасатындай етіп жасалған. Сонымен қатар, тереңдетілген орталық аймақ сигналдық контактінің функциясын орындайды, ал оның жиектері жерге тұйықтау контактісі қызметін атқарады [4].

Touch Memory кілті мен Touch Probe құрылғысының өзара әрекеттесу сызбасы 3 - суретте көрсетілген.



Сурет 3 – Touch Memory кілті мен Touch Probe құрылғысының өзара әрекеттесу сызбасы

Arduino контроллерінің желілік модулі ретінде IEEE 802.3 стандартты жергілікті желілерге секундына 10/100 мегабит жылдамдықпен қосуды қамтамасыз ететін Wiznet W5100 желілік контроллеріне негізделген микроконтроллерлердің осы тобы үшін типтік болып табылатын Arduino Ethernet Shield интерфейс модулін пайдалану ұсынылады.

Қосымша, бұл интерфейс модулі жергілікті желі арқылы берілетін деректерді сақтауға арналған SD форматындағы жад карталарына арналған интеграцияланған ұяға ие. Сонымен қатар, SD жады картасы Arduino контроллерінің тұрақты жады (flash-жинақтауыш) ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Басқару модулі ретінде Arduino микроконтроллерлері тобы үшін типтік болып табылатын Arduino Motor Shield интерфейстік модулін қолдану ұсынылады.

2 Arduino платформасы негізіндегі атқарушы құрылғының құрылымдық сызбасын әзірлеу

Параграф 1-де ұсынылған Arduino платформасы негізіндегі ҚББЖ контроллерінің аппараттық компоненттерінің құрамына сүйене отырып, жұмыста Arduino микроконтроллерінің бағдарламалық модульдерінің жиынтығы мен олардың өзара, сондай-ақ алдыңғы параграфта қарастырылған датчиктермен және интерфейсстік модульдермен байланысын құрайтын контроллердің құрылымдық сызбасы әзірленді.

Сонымен қатар, ұсынылған құрылымдық сызба ҚББЖ контроллерінің жұмыс істеу процесіне қатысатын аппараттық құрылымдар жиынтығын анықтайды.

ҚББЖ контроллерінің құрылымдық сызбасын жасау әзірленетін контроллер автономды, бірақ, ҚББЖ орталықтандырылған серверімен өзара әрекеттесу үшін жергілікті желіге қосылу мүмкіндігіне ие болады деген тұжырымдарды негізге ала отырып жүргізілді [5].

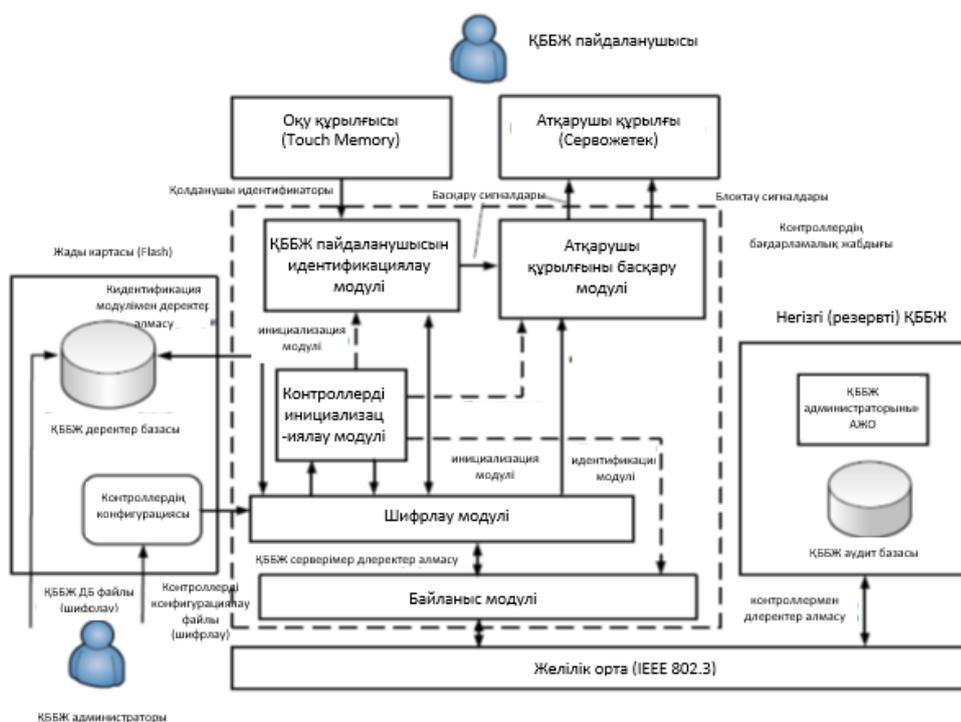
Ethernet Shield интерфейс модуліндегі SD картасының ұяшығына орнатылған флэш-дискіде ҚББЖ пайдаланушыларының дерекқорын сақтау арқылы ҚББЖ контроллерінің автономдығын қамтамасыз ету ұсынылады (1 п.). Бұл шешім атқарушы құрылғыға сигнал беру уақытын азайтуға мүмкіндік береді.

Пайдаланушының идентификаторы туралы ақпарат желі бойынша ҚББЖ серверінің аудит базасына параллельді берілетін болады, бұл көптеген автономды ҚББЖ контроллерлерінің жұмыс істеу процесі туралы мәліметтерді сақтауға мүмкіндік береді.

ҚББЖ құрамында әр нақты контроллердің қызмет ету ерекшеліктерін flash-жинағышта сақталатын арнайы конфигурациялық файлды пайдалана отырып конфигурациялау ұсынылады.

ҚББЖ деректер қоры мен flash-картада сақталатын конфигурациялық файл ақпараттарын, сонымен қатар контроллер мен сервер арасындағы алмасатын деректерді әдейі немесе әдейі емес модификациялау қол жетімді мүмкін болғандықтан, осы деректерді қорғау нұсқаларының бірі оларды шифрлеу болып табылады.

Жоғарыда көрсетілген ерекшеліктерді ескере отырып, Arduino платформасының негізінде ҚББЖ атқару құрылғысының (контроллерінің) құрылымдық сызбасы әзірленді. Әзірленген сызба 4-суретте келтірілген.



Сурет 4 – Arduino платформасы негізінде ҚББЖ контроллерінің құрылымдық сызбасы

Келтірілген құрылымдық сызба әзірленетін ҚББЖ контроллерінің негізгі функционалдық модульдерін анықтауға мүмкіндік берді.

3 Arduino платформасы негізінде атқарушы құрылғы жұмысының функционалдық сызбасын әзірлеу

Осы жұмыс шеңберінде әзірленетін атқарушы құрылғы (контроллер) гибриді құрылымды желілік ҚББЖ шеңберінде қолдануға бағытталған. Бұл желіде ҚББЖ пайдаланушылар жиынын және олардың рұқсаттарын басқаруды, сондай-ақ ҚББЖ пайдаланушылары мен контроллерлер жиынының белсенділік аудитінің деректер базасын автономды режимде басқаруды (ҚББЖ пайдаланушыларының жергілікті деректер базасын қолдана отырып), сондай-ақ орталықтандырылған сервермен деректер алмасудың желілік режимінде де жұмыс істеуін қамтамасыз ететін орталықтандырылған сервер бар.

Осыған байланысты атқару құрылғысының жұмыс істеу процесінің функционалдық құрылымының сызбасын әзірлеу маңызды міндет болып табылады.

Функционалды құрылым сызбасын әзірлеудің формальды негізі ретінде IDEF0 әдістемесі таңдалды [6].

Arduino платформасы негізіндегі ҚББЖ атқарушы құрылғыларының жұмыс істеу процесінің функционалдық құрылымының әзірленген сызбасының декомпозиция диаграммасы 5-суретте көрсетілген.



Сурет 5 – ҚББЖ контроллерінің жұмыс істеу процесінің декомпозиция диаграммасы

5-суретте көрсетілгендей, ҚББЖ контроллерінің жұмысына арналған негізгі деректер - конфигурация файлында сақталатын контроллердің баптаулары, ҚББЖ деректер базасы, сонымен қатар оқу құрылғысынан түсетін басқару сигналдарының жиынтығы, желі бойынша ҚББЖ администраторынан келетін және флэш-жинақтауыштағы ҚББЖ деректер базасы және/немесе конфигурациялық файл деректері өзгеру кезіндегі деректер.

Осы кіріс ақпаратын өңдеу нәтижесінде ҚББЖ контроллері атқарушы құрылғы үшін штаттық немесе мәжбүрлеп қол жеткізу сигналдарын, оны мәжбүрлеп бұғаттау сигналын, сондай-ақ ҚББЖ-ның орталықтандырылған серверіне жіберу үшін деректер пакеттерін қалыптастырады.

ҚББЖ контроллерінің жұмыс процесінің функционалды құрылымының әзірленген сызбасы жоғарыда көрсетілген функциялардың орындалуын қамтамасыз ететін контроллердің бағдарламалық компоненттерінің іске асырылуын ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

4 Arduino платформасы негізіндегі атқарушы құрылғының электрлік принципіалды сызбасын әзірлеу

Arduino платформасы негізіндегі атқарушы құрылғы келесі элементтерден тұрады:

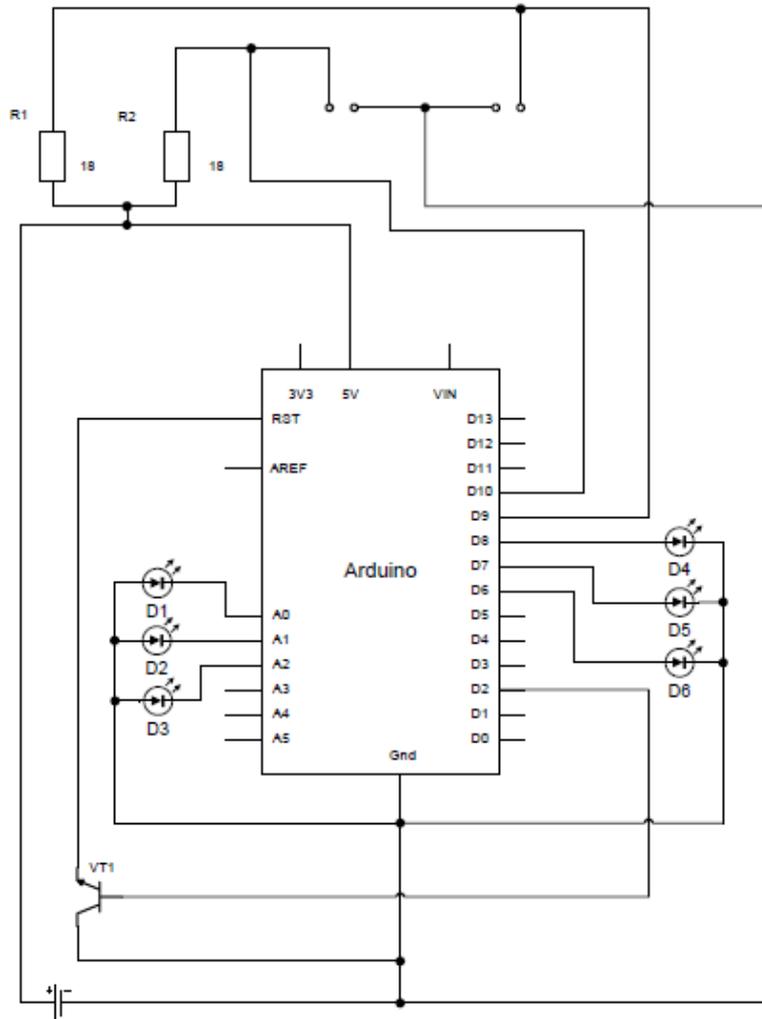
- Arduino Duemilanove микроконтроллерлік платасы;
- Екі резистор 9,1 Ком;
- NPN Транзисторы КТ940А;
- Екі оқу құрылғысы (контактілер түрінде);
- Екі жарық диоды BL LED-L109EGW;
- Arduino Ethernet Shield модулі.

VT1 транзисторы ақау шыққан жағдайда микроконтроллерді қайта жүктеу функциясын қамтамасыз етеді.

R1 және R2 резисторлары негізгі тасымалдаушылардан пайдаланушы ақпаратын оқу тізбектеріндегі токты шектеуді қамтамасыз етеді.

Оқу құрылғылары (контактілер) ақпаратты оқуды қамтамасыз етеді. D1-D6 светодиодтары электрлік құлыптардың рөлін орындайды, есіктерді ашуға/жабуға сәйкес келетін жасыл немесе қызыл түспен жанады.

Arduino платформасы негізіндегі атқарушы құрылғының электрлік принципіалды компоненттерінің сызбасы 6-суретте келтірілген.



Сурет 6 – Arduino платформасы негізіндегі атқарушы құрылғының электрлік принципалды компоненттерінің сызбасы

Қорытынды

Құрастырылған құрылымдық сызба, функционалды құрылым сызбасы және бөліктердің принципалды сызбалары бағдарламалық прототиптің жұмыс істеу алгоритмдерін әрі қарай әзірлеу және іске асыру мүмкіндігін, ҚББЖ контроллерінің жұмыс істеу логикасын қамтамасыз етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] МЕМСТ 51241-98 «Қол жеткізуді бақылау және басқару құралдары мен жүйелері. Жіктелуі. Жалпы техникалық талаптар. Сынау әдістері. МОД»
- [2] Гинце А. А. Новые технологии в СКУД / Гинце А.А., Чирков Б.А, Фетисов П.Б., Цветаев А.А. – М.: Инфо, 2013 – 398 с.
- [3] Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / У. Соммер. – СПб.: BHV, 2016. – 256 с.
- [4] Васильев, А.Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений / А.Е. Васильев. - СПб.: BHV, 2012. – 304 с.
- [5] Ворона В.А., Тихонов В.А. Системы контроля и управления доступом. М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 272 с.
- [6] Машенов Р. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: Учебное пособие – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 412 с.

LIST OF REFERENCES

- [1] GOST 51241-98 " tools and systems for access control and management. Classification. General technical requirements. Test method. MAUD»
- [2] S. Gince S. A. New technologies in the ACS / Gince S. A., Chirkov B. A., Fetisov p. B., Tsvetaev S. A.-M.: info, 2013-398 p.
- [3] Sommer, U. Programming of microcontroller boards Arduino/Freeduino / U. Sommer. - SPb.: BHV, 2016. - 256 p.
- [4] Vasiliev, A. E. Microcontrollers. Development of interoperable applications / A. sh. Vasiliev. - Saint Petersburg: BHV, 2012. - 304 p.
- [5] Vorona V. A., Tikhonov V. A. access control and control Systems. Moscow: Hotline-Telecom, 2010. - 272 p.
- [6] Mashenov R. G. security alarm Systems: fundamentals of theory and principles of construction: Textbook-Moscow: Hotline-Telecom, 2004. - 412 p.

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SCHEME OF THE ACCESS CONTROL SYSTEM BASED ON THE ARDUINO PLATFORM

G.O. Zhaksylyk*, G.K. Kulmagambetova

K.Zhubanov Aktobe regional state university, Aktobe, Kazakhstan
e-mail: sezim.zhaksylykova@mail.ru, kulma_zh@mail.ru

Abstract. In this article, the tasks of developing an access control and management system are posed, and questions of drawing up a structural diagram of its controller and a diagram of the functional structures of its operation are considered. Also, the circuit diagrams of the electrical components of the controller of the access control and management system, within which the developed functions are implemented, are developed.

Keywords: access control and control system, identification, reader devices, Executive devices, controller, Arduino

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Г.О. Жаксылык*, Ж.К. Кулмагамбетова

Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова
г. Актобе, Казахстан
e-mail: sezim.zhaksylykova@mail.ru, kulma_zh@mail.ru

Аннотация. В данной статье поставлены задачи по разработке системы контроля и управления доступом, и рассматриваются вопросы составления структурной схемы его контроллера и схемы функциональных структур процесса его работы. Также разработаны схемы электрических принципиальных компонентов контроллера системы контроля и управления доступом, в рамках которых реализуются разработанные функции.

Ключевые слова: системы контроля и управления доступом, идентификация, учебные устройства, исполнительные устройства, контроллер, arduino



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

МРНТИ 50.47.02

СИСТЕМА ПРЕД – И ПОСЛЕАВАРИЙНОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

И.В. Брейдо¹, В. Вяткин², Е.С. Котов^{1,*}

¹Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан,

² Университет Aalto г. Хельсинки, Финляндия
e-mail: kotov1988@mail.ru, jbreido@mail.ru

***Аннотация.** Проведен обзор современных систем автоматизированного контроля безопасности на угольных шахтах. При наличии современных систем контроля безопасности, осуществляющих постоянный газовый контроль во время технологических процессов, отсутствуют специализированные системы, обеспечивающие контроль и выявление нарушений правил эксплуатации взрывозащищенного электрооборудования. Эти нарушения являются причиной большинства аварий на угольных шахтах со значительными человеческими жертвами. В ходе проведенного обзора выявлено также отсутствие комплексного документированного контроля развития ситуации во время и после возникновения аварии. В работе представлено описание системы пред - и послеаварийного контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования и состояния технологической среды. Отличительной особенностью системы является применение технологии передачи данных Power Line Communication, использующей силовые электросети для обмена информацией на высокой скорости. В случае возникновения аварийных ситуаций система обеспечивает независимую документированную запись состояния технологической среды. Сбор информации осуществляется с помощью блока контроля, расположенного во взрывозащищенной оболочке. Система обеспечивает комплексный контроль состояния шахтной атмосферы и электрооборудования.*

***Ключевые слова:** угольные шахты, контроль параметров, мониторинг, электрооборудование.*

Введение

Анализ основных тенденций развития взрывоопасной промышленности угля на шахтах Республики Казахстан показал, что в последние годы существенно возросла производительность за счет совершенствования технологии добычи вследствие внедрения мощной горнодобывающей техники. Увеличение газовыделения происходит за счет роста производительности, в связи с этим к системам автоматизированного контроля безопасности на угольных шахтах предъявляются высокие требования. Большое количество систем безопасности на угольных шахтах имеет огромные функциональные возможности в штатных режимах работы. Системы автоматизированного контроля безопасности на угольных шахтах, произведенные в настоящее время в странах СНГ и дальнем зарубежье, обеспечивают автоматическое или автоматизированное управление оборудованием. Осуществляется контроль состояния и параметров шахтной атмосферы, а также состояние основного и вспомогательного технологического оборудования, в том числе обмен информацией с диспетчерским пунктом, сбор, обработка, визуализация и хранение информации [1, 2].

На угольных шахтах Российской Федерации внедрены современные многофункциональные системы безопасности, такие как: СУБР-1П (ООО «Ингортех», Екатеринбург), «Талнах» (Компания «Информационная Индустрия»), МСА 1000 FLEXCOM, ИИС АСУТП ООО НПФ «Гранч». Информационно-измерительная система, обеспечивающая безопасность на угольных шахтах, построенная на основе АСУТП ООО НПФ «Гранч» является универсальной, в плане подключения большинства современных датчиков. Кроме того, существует возможность использования программного обеспечения сторонних производителей (OPC-сервер, SCADA) [3,4,5].

На угольных шахтах Республики Казахстан широко используются системы: АСУ "Безопасность" (Казахстан) АКМР-М, МИКОН-1Р (Россия) [6].

При очевидном прогрессе горнодобывающей техники, нельзя не отметить и прогресс современных средств контроля режимов работы угольных шахт, которые, в основном, соответствуют современным технологиям добычи угля и обеспечивают безопасность на опасных производствах в процессе эксплуатации.

Многообразие и сложность выполняемых функций, значительное количество контролируемых параметров и, соответственно, различных датчиков, пространственная распределенность объектов контроля и управления, предопределяют общие конструктивные признаки систем:

- наличие наземной и подземной частей систем;
- иерархическая структура, как правило, трехуровневая (датчики – подземные контроллеры (блоки первичной обработки информации) – серверы);
- значительное количество конструктивов.

В штатных режимах эксплуатации вышеописанные системы позволяют достаточно эффективно осуществлять контроль оборудования и технологической среды угольных шахт. При возникновении аварийных ситуаций функционирование таких систем затруднено, а часто просто невозможно [7]. В случае возникновения недопустимых токов утечки или повреждений линий электроснабжения отключается электроэнергия, и датчики метана остаются без электропитания. Если же авария обусловлена внезапными выбросами, возгоранием или взрывом метано-воздушной смеси, происходит физическое разрушение различных датчиков, основных аппаратов контроля и кабельных линий связи. В связи с этим, информация с датчиков, снабженных аккумуляторной батареей, при авариях теряется.

Воссоздание процесса возникновения аварийных ситуаций, необходимого при расследовании причин аварий является основной проблемой, в связи с тем, что системы контроля безопасности перестают функционировать после аварии. Расследование причин аварий на основе последствий носит вероятностный характер, что в свою очередь ставит под сомнение достоверность выводов.

Угольные шахты Карагандинского угольного бассейна являются опасными в связи с наличием газа и пыли. Аварии на таких шахтах наиболее тяжелые последствия. В связи с этим, в настоящее время актуальным является решение проблемы объективного документированного контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования.

Описание системы

Наиболее распространенной причиной взрывов на угольных шахтах является превышение допустимой концентрации метана при наличии источников его воспламенения. Такими источниками могут быть неисправное электрооборудование, коммутация электрических аппаратов, не имеющих взрывозащищенную оболочку [7, с 193]. Все это происходит вследствие нарушения правил техники безопасности.

В настоящее время существует множество предпосылок для создания системы контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования. Основным назначением такой системы является сбор и регистрация, а также хранение и передача в диспетчерский пункт информационных параметров технологической среды. При проведении расследования аварии ранее недоступная информация позволит объективно выяснить ее причины. С учетом возможностей современной микропроцессорной техники такая задача вполне разрешима.

Система пред- и послеаварийного контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования в нормальном штатном режиме измеряет состояние шахтной атмосферы, фиксирует наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, целостность его оболочки и целостность кабеля. Событие, связанное с коммутацией электрических аппаратов, появлением или исчезновением напряжения питания электрооборудования, вскрытием оболочки пускателей, и любым изменением допустимых показателей параметров шахтной атмосферы, сохраняется в контроллер с указанием метки времени. Далее эта информация передается в диспетчерский пункт по шахтной электрической сети с помощью PLC (Power line Communication) модема [7, с 194].

Power line Communication – является современной телекоммуникационной технологией. Высокоскоростной информационный обмен осуществляется на базе использования силовых линий электропередач. Данная технология основана на частотном разделении сигнала, а также разделении

высокоскоростного потока на несколько низкоскоростных. Каждый из потоков передается на отдельной поднесущей частоте, которые в последующем объединяются в один сигнал [8].

Диапазон частот, используемых в технологии Power Line, находится в пределах от 4 до 21 МГц. Данная технология включает в себя как широкополосную передачу данных посредством линии электропередачи, обеспечивающую передачу данных со скоростью более 1 Мбит в секунду, так и узкополосную передачу данных также посредством линии электропередачи с меньшей скоростью передачи [9]. В связи с возникновением больших затуханий на определенных частотах нередко происходит потеря данных. Применение динамического включения и выключения передачи сигнала позволяет решить данную проблему. Постоянный мониторинг канала передачи с целью выявления определенного участка спектра с превышением порогового значения затухания является основой данного метода. Использование этих частот прекращается на время до восстановления нормального значения затухания [10]. Временная привязка осуществляется с помощью микросхемы часов PCF8583.

Система пред- и послеаварийного контроля режимов работы состоит из подсистемы осуществляющей контроль технологической среды, подсистемы осуществляющей контроль электрооборудования, а также подсистемы осуществляющей обработку и хранение информации [11].

Основными объектами подсистемы контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования являются электрические аппараты, такие как автоматы и пускатели, распределяющие электроэнергию в пределах участка. Наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, несанкционированный доступ внутрь оборудования, а также целостность кабеля, являются основными параметрами контроля электрооборудования.

Параметрами контроля технологической среды угольных шахт является содержание газов, включая метан, водород, кислород, углекислый газ, угарный газ. В связи с тем, что внезапные выбросы, взрывы и пожары сопровождаются повышением температуры, а также световой, звуковой и ударной волнами, в системе предусмотрен контроль таких параметров как изменение давления шахтной атмосферы; акустический [12] и температурный контроль; контроль светового потока, преимущественно в инфракрасной области; контроль ускорения и изменения положения взрывозащищенного корпуса пускателя в аварийных режимах в результате действия взрывной волны.

Система обеспечивает фиксацию несанкционированного доступа, информация о котором хранится в памяти. Нахождение всех линий связи внутри корпуса пускателя является обязательным условием при размещении датчиков [7, с 194].

Преимуществом данной системы является наличие одного диспетчерского пункта, который собирает информацию с пускателей. На рисунке 1 изображена структурная схема системы пред- и послеаварийного контроля. Как видно из рисунка 1, сигналы с датчиков, расположенных в пускателях, после обработки микропроцессором передаются в блок контроля, а оттуда в диспетчерский пункт. При возникновении аварийных ситуаций, а также отключения электропитания, вся накопленная информация хранится в карте памяти, расположенной непосредственно в пускателе.

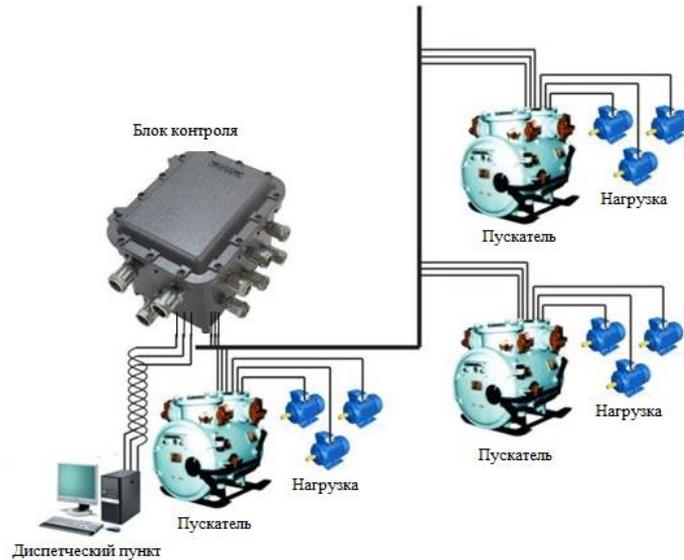


Рисунок 1 - Структурная схема системы пред- и послеаварийного контроля

Система осуществляет контроль следующих технологических параметров пускателя:

- 1) Контроль бесконтактным способом крышки кабельного ввода, а также быстросъемной крышки, с применением бесконтактных датчиков.
- 2) Контроль сигналов технологических защит (сигнал утечки по кабелю, замыкание на землю, максимальная токовая защита, сигнал внешней блокировки) производится с контактной платы блока управления.
- 3) Факт наличия напряжения контролируется блок-контактами пускателя.
- 4) Наличие сигнала включения контролируется датчиками на выходе пускателя.

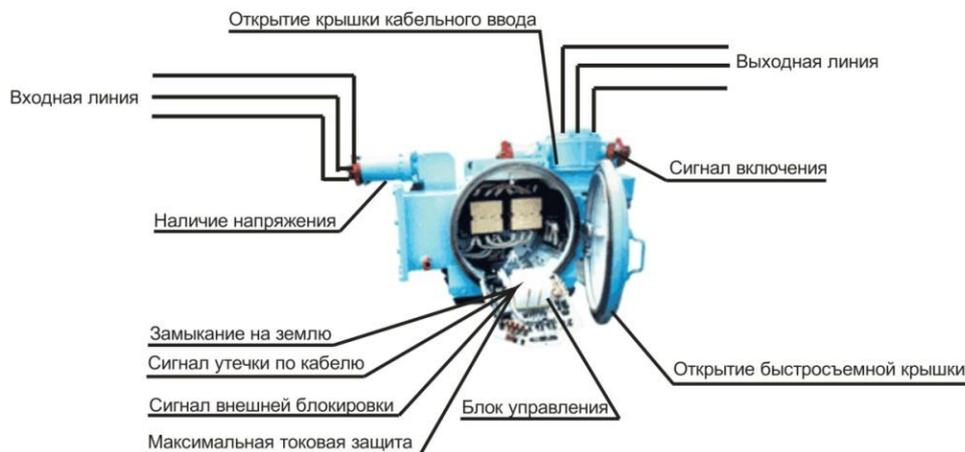


Рисунок 2 - Расположение контрольных точек на пускателе

Для данной системы передачи по низковольтной сети переменного тока необходимо использовать следующие функциональные узлы, представленные на рисунке 3:

- а) блок сбора данных - содержит датчики, расположенные в пускателе;
- б) блок обработки сигналов - содержит контроллер передатчика, осуществляющий преобразование сигналов с датчика в универсальный протокол передачи данных I2C;
- в) преобразователь для MMC/SD карты - позволяет непрерывно фиксировать на карту памяти контролируемые параметры;
- г) PLC модем для передатчика - преобразует сигнал, поступающий с контроллера для дальнейшей передачи по низковольтной сети переменного тока;

д) PLC модем для приемника - преобразует сигнал, поступающий по сети в сигнал, соответствующий стандартному протоколу, для дальнейшей передачи на контроллер приемника или панель оператора.

От известных в мировой практике систем азрогазового контроля система пред- и послеаварийного контроля отличается по следующим позициям. Реализован комплексный мониторинг состояния шахтной атмосферы и электрооборудования, работающий в штатных и предаварийных режимах. Контроль наличия электроэнергии в электрооборудовании, а также контроль доступа во взрывозащищенные оболочки осуществляется с помощью датчиков, входящих в состав системы. Процесс передачи информации о состоянии автоматов и пускателей в центральный блок контроля осуществляется по низковольтной шахтной сети с помощью технологии Power line Communication. Система осуществляет определение предполагаемого направления распространения фронта ударной волны по сигналам световых и звуковых датчиков, а также датчиков давления. Система предусматривает хранение информации в поставарийном режиме работы, включая пополнения журнала регистрации при возникновении повторных аварийных ситуаций. Для поиска центрального блока контроля, попавшего в завал после аварии, предусмотрено использование «радиомаяка», выполненного на основе беспроводного индукционного канала обмена информацией непосредственно через корпус взрывозащищенной оболочки [7, с 196].

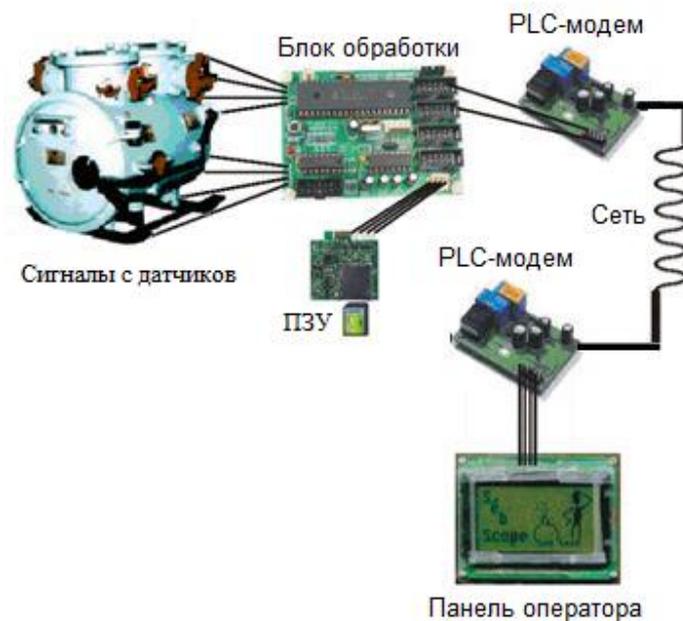


Рисунок 3- Функциональная схема

Выводы

Разработанное техническое решение, применяемое для контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования, основано на микроконтроллере PIC18F. Данное схмотехническое решение позволяет, получая сигналы от дискретных датчиков, производить их предварительную обработку, а также сохранять и отправлять результаты на диспетчерский пункт.

Для повышения отказоустойчивости системы, схмотехнически предусмотрено использование двух независимых блоков сохранения данных. Дублирование сохраняемой информации в два независимых блока позволит восстановить сохраненные данные в случае повреждения одного из них. Разделение задач по сохранению данных позволяет передать все операции по формированию данных.

Использование системы передачи информации по низковольтным сетям позволяет повысить надежность передачи информации. Также, с учетом использования автономного накопителя информации, микропроцессорная система контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования угольных шахт позволит при анализе причин аварии на шахтах располагать данными, ранее недоступными.

Аналогичные проблемы, связанные с отсутствием систем пред- и послеаварийного контроля, существуют и на других взрывоопасных производствах, к которым относятся предприятия металлургического комплекса, деревообрабатывающей, нефтегазовой, химической и мукомольной промышленности. Для анализа причин и процессов развития аварий в авиации, например, предусмотрены так называемые "черные ящики". Аналогичные системы необходимо иметь и на опасных производствах. Задачи создания систем предаварийного и послеаварийного контроля для взрывоопасных производств в настоящее время технически разрешимы.

Стратегия индустриально-инновационного развития и задача вхождения Республики Казахстан в число 50 развитых стран предполагает создание продукции с высокой добавленной стоимостью. Реализация проекта, не имеющего аналогов в мире, и последующая организация серийного производства продукции – это шаг на пути преодоления технологической отсталости Казахстана в области создания автоматических систем безопасности взрывоопасных производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Бабенко А. Г. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт/А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин// Доклад на республиканской конференции «Методы контроля и прогноза развития геодинамических явлений в процессах разработки месторождений твердого и углеводородного сырья». – Екатеринбург, УГГУ, 16-17 апреля 2015 г..

[2]. Пугачев Е. В., Червяков Е. В., Червяков А. Е. Модель системы автоматического мониторинга, прогнозирования и управления аэрогазовым режимом на угольных шахтах // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т: под общ. ред. В. Н. Фрянова. — Новокузнецк, 2008.

[3]. Голик А.С., Новоселов С.В., Ярош А.С., Попов В.Б. Система жизнеобеспечения работников угольных шахт при локализации и ликвидации подземных пожаров, осложненных взрывами метановоздушной смеси // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018 №4 - С 49-53.

[4]. Шкундин С.З., Стучилин В.В. Концепции построения информационноизмерительных систем обеспечения безопасности в угольных шахтах РФ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2014 №9 - С 173-184.

[5] Грачев А.Ю, Новиков А.В., Гоффарт Т.В., Урусов Л.В. Многофункциональные системы безопасности и позиционирование персонала в шахтах // «Горная Промышленность» 2016 №2 (126) - С 95-101.

[6] Авдеев Л.А. Интегрированная АСУ «Безопасность» угольной шахты: учеб.пособие. Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2014. – 119 с

[7]. Breido, I.V., Sichkarenko, A.V. & Kotov, E.S. Emergency control of technological environment and electric machinery activity in coal mines. Journal of Mining Science. 2013. Т. 49. № 2. С. 338-342.

[8]. Николенко К.В., Юрченко А.В. Технология PLC и новые стандарты широкополосного доступа // XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», Томск, 2011

[9] Сорокин И.А., Романов П.Н., Чесноков А.Д. Перспективы объединения технологии PLC и Wi-Fi для высокоскоростного доступа в интернет // Международный научный журнал «Инновационная наука» 2016 №6 С 142-144

[10]. Ключев, А.О., Ковязина Д.Р., Кустарев, П.В., Платунов, А.Е. Аппаратные и программные средства встраиваемых систем. Учебное пособие [Текст] / А.О. Ключев, П.В. Кустарев, А.Е. Платунов. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 290 с.

[11]. Брейдо И. В., Сичкаренко А. В. Режимы работы интеллектуальной системы пред- и поставарийного контроля угольных шахт // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-21: тр. XXI Междунар. науч. конф. 27-31 мая 2008 г. - Саратов, 2008.

[12] Котов Е.С., Баскаков П.В. Разработка информационного комплекса системы поставарийного контроля добычных участков угольных шахт // Труды Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11) 14-15 июня 2019 г. Часть 5

LIST OF REFERENCES

- [1]. Babenko A. G. Mnogofunkcional'nye sistemy bezopasnosti ugol'nyh shaht/A. G. Babenko, S. E. Lapin// Doklad na respublikanskoj konferencii «Metody kontrolya i prognoza razvitiya geodinamicheskikh yavlenij v processah razrabotki mestorozhdenij tverdogo i uglevodorodnogo syr'ya». – Ekaterinburg, UGGU, 16-17 aprelya 2015 g..
- [2]. Pugachev E. V., CHervyakov E. V., CHervyakov A. E. Model' sistemy avtomaticheskogo monitoringa, prognozirovaniya i upravleniya aerogazovym rezhimom na ugol'nyh shahtah // Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nyh resursov: sb. nauch. statej / Sib. gos. industr. un-t: pod obshch. red. V. N. Fryanova. — Novokuzneck, 2008.
- [3]. Golik A.S., Novoselov S.V., YArosh A.S., Popov V.B. Sistema zhizneobespecheniya rabotnikov ugol'nyh shaht pri lokalizacii i likvidacii podzemnyh pozharov, oslozhnennyh vzryvami metanovozdushnoj smesi // Vvestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2018 №4 - S 49-53.
- [4]. SHkundin S.Z., Stuchilin V.V. Konceptii postroeniya informacionnoizmeritel'nyh sistem obespecheniya bezopasnosti v ugol'nyh shahtah RF // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal) 2014 №9 - S 173-184.
- [5] Grachev A.YU, Novikov A.V., Goffart T.V., Urusov L.V. Mnogofunkcional'nye sistemy bezopasnosti i pozicionirovanie personala v shahtah // «Gornaya Promyshlennost'» 2016 №2 (126) - S 95-101.
- [6] Avdeev L.A. Integrirovannaya ASU «Bezopasnost'» ugol'noj shahty: ucheb.posobie. Karagandinskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2014. – 119 s
- [7]. Breido, I.V., Sichkarenko, A.V. & Kotov, E.S. Emergency control of technological environment and electric machinery activity in coal mines. Journal of Mining Science. 2013. T. 49. № 2. S. 338-342.
- [8]. Nikolenko K.V., YUrchenko A.V. Tekhnologiya PLC i novye standarty shirokopolosnogo dostupa // XVII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenykh «Sovremennye tekhnika i tekhnologii», Tomsk, 2011
- [9] Sorokin I.A., Romanov P.N., CHesnokov A.D. Perspektivy ob"edineniya tekhnologii PLC i Wi-Fi dlya vysokoskorostnogo dostupa v internet // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Innovacionnaya nauka» 2016 №6 S 142-144
- [10]. Klyuchev, A.O., Kovyazina D.R., Kustarev, P.V., Platonov, A.E. Apparatnye i programmnye sredstva vstraivaemykh sistem. Uchebnoe posobie [Tekst] / A.O. Klyuchev, P.V. Kustarev, A.E. Platonov. – SPb.: SPbGU ITMO, 2010. – 290 s.
- [11]. Breido I. V., Sichkarenko A. V. Rezhimy raboty intellektual'noj sistemy pred- i postavarijnogo kontrolya ugol'nyh shaht // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah - MMTT-21: tr. XXI Mezhdunar. nauch. konf. 27-31 maya 2008 g. - Saratov, 2008.
- [12] Kotov E.S., Baskakov P.V. Razrabotka informacionnogo kompleksa sistemy postavarijnogo kontrolya dobychnykh uchastkov ugol'nyh shaht // Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacii» (Saginovskie chteniya №11) 14-15 iyunya 2019 g. CHast' 5

ЖАРЫЛЫСТАН ҚОРҒАЛҒАН ЭЛЕКТР ЖАБДЫҒЫНЫҢ ЖҰМЫС ТӘРТІБІН АЛДЫН АЛА ЖӘНЕ АПАТТАН КЕЙІНГІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІ

И.В. Брейдо¹, В. Вяткин², Е.С. Котов^{1,*}

¹ Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан,

² Aalto Университеті Хельсинки қ., Финляндия
e-mail: kotov1988@mail.ru, jbreido@mail.ru

Аңдатпа. Көмір шахталарындағы қауіпсіздікті автоматтандырылған түрде бақылаудың заманауи жүйелеріне шолу жүргізілді. Технологиялық процестер кезінде газды тұрақты бақылауды жүзеге асыратын қауіпсіздікті бақылаудың заманауи жүйелері болған кезде жарылыстан қорғалған электр қондырғыларын пайдалану ережелерін бұзушылықтарын бақылау мен анықтауды қамтамасыз ететін мамандандырылған жүйелер жоқ. Бұл бұзушылықтар көмір шахталарында адам өліміне алып келген көптеген апаттардың себебі болып табылады. Сондай-ақ апат болған кезде және одан кейін жағдайдың дамуына кешенді құжатталған бақылау жоқ. Бұл жұмыста жарылыстан қорғалған электржабдықтарының жұмыс тәртібін алдын ала және апаттан кейінгі бақылау жүйесі мен технологиялық ортаның жай - күйінің сипаттамасы берілген. Жүйенің айрықша ерекшелігі жоғары жылдамдықпен ақпарат алмасу үшін қуатты электр желілерін пайдаланатын Power Line Communication деректерді беру технологиясын қолдану болып табылады. Апаттық жағдайлар туындаған жағдайда жүйе технологиялық орта жағдайының тәуелсіз құжатталған жазбасын қамтамасыз етеді. Ақпаратты жинау жарылыстан қорғалған қабықта орналасқан бақылау блогының көмегімен жүзеге асырылады. Жүйе шахталық атмосфера мен электр жабдықтарының жай-күйін кешенді бақылауды қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: көмір шахталары, өлшемдерді бақылау, мониторинг, электр жабдықтары.

SYSTEM OF PRE- AND POST-EMERGENCY CONTROL OF OPERATION MODES OF EXPLOSION-PROOF ELECTRICAL EQUIPMENT

I.V. Breido¹, V. Vyatkin², *E.S. Kotov^{1,*}

¹ Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

² Aalto University, Helsinki, Finland

e-mail: kotov1988@mail.ru, jbreido@mail.ru

Annotation. A review of modern systems for automated safety control in coal mines was carried out in the article. In the presence of modern safety control systems that carry out constant gas control during technological processes, there are no specialized systems ensuring the monitoring and identification of violations of the operating rules for explosion-proof electrical equipment. These violations are the cause of most coal mine accidents with significant casualties. There is also no comprehensive documented monitoring of the development of the situation during and after the accident. The article describes the system of pre - and post-emergency control of explosion-proof electrical equipment operating modes and the state of the technological environment. A distinctive feature of the system is the use of Power Line Communication technology, which uses power grids to exchange information at high speed. In case of emergencies, the system provides an independent documented record of the state of the technological environment. Information is collected using a control unit located in an explosion-proof enclosure. The system provides comprehensive monitoring of the condition of the mine atmosphere and electrical equipment.

Keywords: coal mines, parameter control, monitoring, electrical equipment.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

МРПТИ 28.23.01

IMPLEMENTATION OF AN INTELLIGENT TESTING SYSTEM APPLICATION

S.S. Brimzhanova^{1,*}, S.K. Atanov¹, Kh. Moldamurat², A.K. Tankibaeva³, A.Zh. Sailau³

¹KSU named after A. Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan

²ENU named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan

³Kostanay Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after Sh. Kabylbaev, Kostanay
e-mail: kameshova_88@mail.ru

Annotation. *Testing - one of the most technological forms of automated control with controlled quality parameters is considered in the article. In this sense, none of the known forms of knowledge control can compare with testing. The authors created an intelligent testing system. The creation of an intellectual system is an urgent task of modern Kazakh science and is due to the need to assess and verify the level and quality of knowledge that occurs in any human activity. The novelty of the research is that it examines the effectiveness of implementing open testing as a progressive method of knowledge control to determine the conduct of further work. The created testing system contains tasks in an open form, where the tester enters a detailed response. This system is recommended for full-time and part-time students, as well as for distance education centers. Practical and scientific results of the research project were introduced into the educational process of Kostanay Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after Shkrakbek Kabylbaev.*

Keywords: *intelligent system, application, evaluation, knowledge control, program, shell, programming language, requirements, code.*

Introduction. Currently, among the many most important problems of the country's socio-economic development, one of the most acute is the problem of training highly qualified specialists in various fields of activity.

The problem of choosing the most suitable specialty, taking into account all the desires and needs, is faced by every applicant to an educational institution.

The choice of specialty depends on the professional future of each person, their satisfaction and satisfaction with the whole society, the solution of many economic and social problems, such as unemployment, income level, employment, etc. every Year, this task is acutely faced by all applicants. Applicants themselves, as well as Universities in General, are interested in choosing the best specialty, and, ultimately, the state that wants to have competent and trained specialists who have chosen a future profession based on their abilities and interests.

Students who choose a specialty that does not correspond to the nature, interests, and opportunities cannot fully realize themselves in professional activities. In the future, this leads to the loss of time most suitable for training, loss of financial resources for training and, ultimately, the need to change the profession.

In the last five years, with the large-scale introduction of computer technologies, the solution of the problem of knowledge control has reached a qualitatively new level. Experiments conducted mainly in higher education institutions have convincingly shown the high efficiency and importance of computerized knowledge control systems [1]. These advantages of computer testing allow us to believe that this form of verification is one of the optimal means of increasing the level of completeness, reliability and multi-aspect knowledge control.

«The test is a scientifically based method of measuring the qualities and properties of a person of interest» [2], «The pedagogical test is a system of knowledge of increasing difficulty and a specific form that allows you to qualitatively assess the structure and measure the level of knowledge» [2].

This testing system uses open-form tasks, where the tester enters a detailed response, as if using tickets. This requires more complex algorithms for analyzing keywords, and such systems must have a high level of intelligence. Intelligence is the ability of the brain to solve intellectual problems by acquiring, accumulating and organizing knowledge, adapting it in the process of learning and experience to various situations [3]. And the most complex tasks are solved by intelligent systems. Intelligent systems (artificial intelligence) are systems that have the capabilities of the human mind to acquire and store knowledge and apply it effectively [4].

The development of an intelligent knowledge assessment system by testing is due to the following theoretical and practical reasons:

- the need for objective and comparable information about learning outcomes;
- the growing need to use computer testing technology as a means of controlling the quality of education;
- requirements for the efficiency of obtaining and analyzing the results of knowledge verification through effective methods and mechanisms for obtaining, storing and analyzing in order to manage the quality of education.

The object of the study is the process of evaluating knowledge by testing, the subject of the work is the development of an effective testing model and a visual representation of the test data obtained.

The novelty of the study is that it examines the effectiveness of the introduction of open testing as a progressive method of knowledge control to determine the conduct of further work.

If you evaluate the level of knowledge of students using an intelligent system by testing, thereby directing them to the necessary area, the effectiveness of training, educational and cognitive activity of students, and the students' understanding of their future activities will increase.

1 Description of the application implementation. Express Express. Express is «a minimalistic and flexible framework for Node.js-web applications that provide a set of features for building single-and multi-page and hybrid web applications» [5]. Package — Package package.JSON install installing the NPM.

```
{  "name": "network",
  "description": "My site",
  "version": "0.0.1",
  "dependencies": {
    "Express": "3.x"  } }
```

The framework code will be placed in the node_modules directory and it will be possible to create an instance of it. The second alternative is the command line. Just install Express by running the npm install-g express command. Having done this, we will have a new CLI tool [6]. For example:

```
express --sessions --css less --hogan app
```

Express generates the configured application framework. The following is a list of parameters for the express(1) command [7]:

Usage: express [options]

Options:

- h, --help output usage information
- V, --version output the version number
- s, --sessions add session support
- e, --ejs add ejs engine support (defaults to jade)
- J, --jshhtml add jshhtml engine support (defaults to jade)
- H, --hogan add hogan.js engine support
- c, --css add stylesheet support (less|stylus) (defaults to plain css)
- f, --force force on non-empty directory

The list of available parameters is small, but this is enough. As a rule, they use the less library as a CSS preprocessor, as well as the Hogan template engine. The example requires session support, and the --sessions parameter solves this problem. When the command is completed, the project structure will look like this:

```
/public
```

```

    /images
    /javascripts
    /stylesheets
  /routes
    /index.js
    /user.js
  /views
    /index.hjs
  /app.js
  /package.json

```

If you look at the package file.json shows that all the dependencies that are needed are added here. But they haven't been installed yet. To do this, you need to run the npm install command, after which the node_modules directory will appear.

2 Tester Directory. A website called Testdirectory was created for this instruction. At the end, a web application with a working control panel will be ready. The idea is to create the ability to manage each part of the application in separate areas for each part. the following structure of the application files is obtained:

```

public
  /images (there are several images exported from Photoshop)
  /javascripts
  /stylesheets
    /home.less
    /inner.less
    /style.css
    /style.less (imports home.less and inner.less)
  /routes
    /index.js
  /views
    /index.hjs (home page)
    /inner.hjs (template for every other page of the site)
  /app.js
  /package.json

```

3 Configuration. First, you need to configure a configuration that is flexible enough for these conditions if the application is deployed on three different servers — local, intermediate, and combat. Naturally, the settings of all three environments are different, and therefore it is necessary to implement this mechanism. It is known that each nodejs script is executed as a console application. This means that you can easily assign parameters to the command that will define the current environment. This part is wrapped in a separate module so that it is convenient to write tests for it later. File/config/index.js:

```

var config = {
  local: {
    mode: 'local',
    port: 3000  },
  staging: {
    mode: 'staging',
    port: 4000  },
  production: {
    mode: 'production',
    port: 5000  }}
module.exports = function(mode) {
  return config[mode || process.argv[2] || 'local'] || config.local;
}

```

At the moment, there are only two parameters — mode and port. That is, the application uses different ports on different servers. This is why you need to update the web server's entry point in the app file.js.

```

...
var config = require('./config')();
...
http.createServer(app).listen(config.port, function(){

```

```
console.log('Express server listening on port ' + config.port); });
```

To switch between configurations, simply add the environment name to the first parameter of the command.

For example: `node app.js staging`

Will output: Express server listening on port 4000. Now all settings are stored in one place, they are easy to manage.

4 Database. MySQL-database management system [8]. Data storage is the main module that ensures the functioning of a specialized system. This module is intended for storing data.

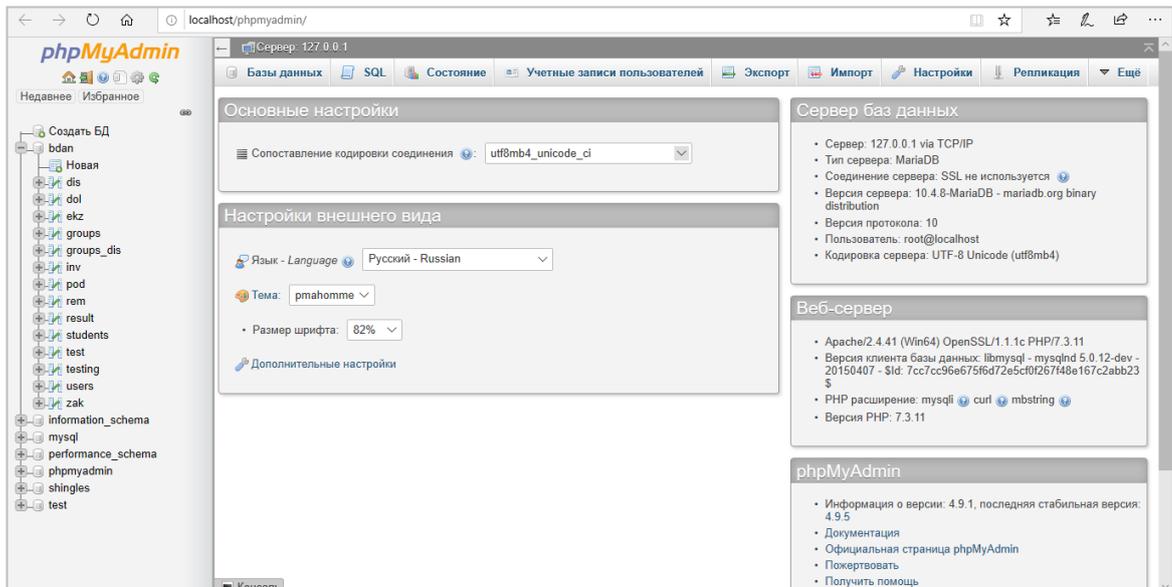


Figure 1. Database

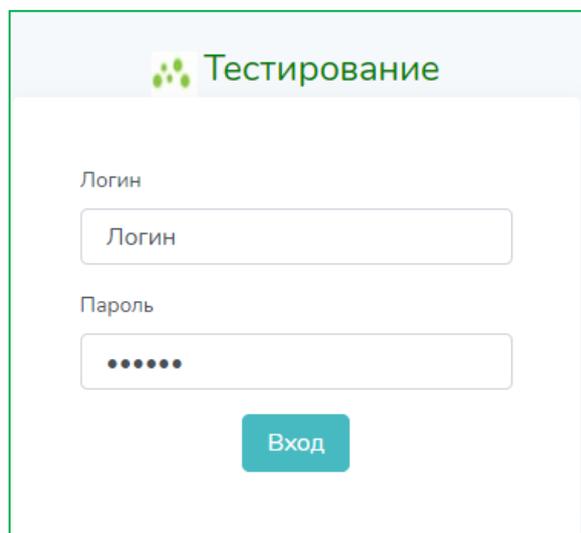


Figure 2. User authentication

5 Tests. The jasmine framework was used for testing. It is available in the NPM package Manager: `npm install -g jasmine-node`

Creating a directory for storing tests. First, we test the configuration file. Test file names must end in `.spec.js`, so the file is called `config.spec.js`.

```
describe("Configuration setup", function() {
  it("should load local configurations", function(next) {
    var config = require('../config')();
    expect(config.mode).toBe('local');
  });
});
```

```

next(); });
it("should load staging configurations", function(next) {
  var config = require('./config')('staging');
  expect(config.mode).toBe('staging');
  next(); });
it("should load production configurations", function(next) {
  var config = require('./config')('production');
  expect(config.mode).toBe('production');
  next(); }); });

```

Conclusions: Testing is one of the most technologically advanced forms of automated control with controlled quality parameters. In this sense, none of the known forms of knowledge control can compare with testing. Recently, with the large-scale introduction of computer technologies, the solution of the problem of knowledge control has reached a qualitatively new level. Experiments conducted mainly in higher education institutions have convincingly shown the high efficiency and importance of computerized knowledge control systems. The authors created an intelligent testing system. The creation of an intellectual system is an urgent task of modern Kazakh science and is due to the need to assess and verify the level and quality of knowledge that occurs in any human activity. The novelty of the research is that it examines the effectiveness of implementing open testing as a progressive method of knowledge control to determine the conduct of further work. The created testing system contains tasks in an open form, where the tester enters a detailed response. This system is recommended for full-time and part-time students, as well as for distance education centers. Practical and scientific results of the research project were introduced into the educational process of Kostanay Academy of the Ministry of internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after sh.Kabylybayev. The advantages of a testing system containing open-form tasks allow us to consider that this form of verification is one of the optimal means of increasing the level of completeness, reliability and multi-aspect control of knowledge. The results are shown in figure 3.

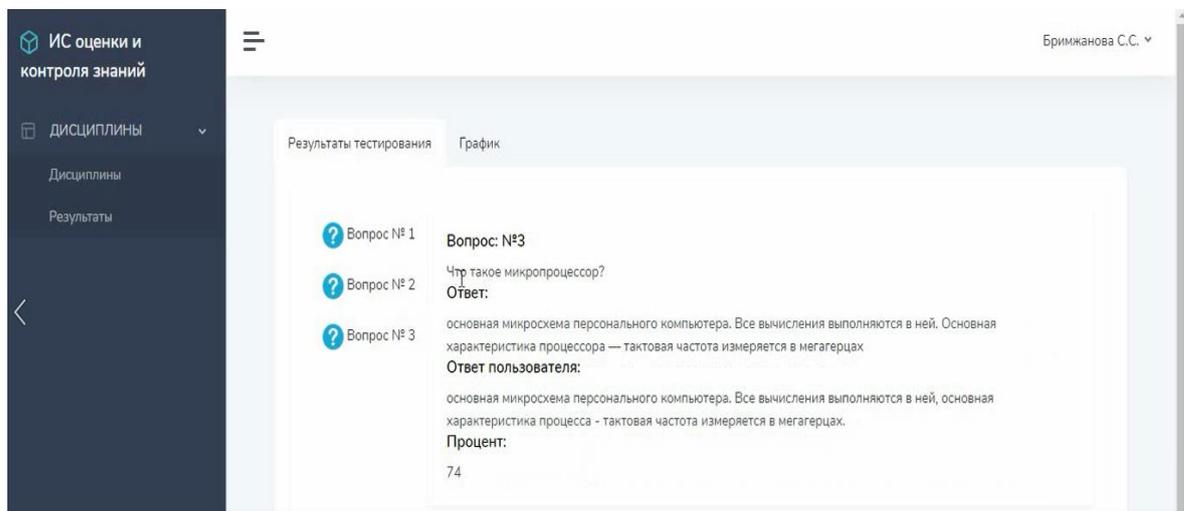


Figure 3. System testing jobs open

LIST OF REFERENCES

- [1]. Ananchenko I. V., Shaparenko Yu. M. / International scientific journal «Symbol of science» no. 6/2015, ISSN 2410-700X, - 252 p.
- [2]. Poguda A. A. / PhD dissertation / «Models and algorithms of knowledge control in Humanities» Tomsk-2016, 18p. [Electronic resource]. URL: <https://storage.tusur.ru/files/43963/dissertation.pdf>.
- [3]. Projdakov E. M., Teplitsky L. A. / «Anglo-Russian dictionary of robotics and artificial intelligence». - Moscow; Berlin: Direct-Media, 2019. -108 p.
- [4]. E. M. Projdakov, L. A. Teplitsky / «Anglo-Russian dictionary of robotics and artificial intelligence». - Moscow; Berlin: Direct-Media, 2019. -15 p.
- [5]. Ethan Brown «Web development with Node and Express application. Full use of the JavaScript stack». - Saint Petersburg: Piter, 2017. - 28 p.

- [6]. Rob Aley «PHP CLI: Create Command Line Interface Scripts with PHP» Publisher: Apress, 2016-41p.
- [7]. Ethan Brown «Web development with Node and Express application. Full use of the JavaScript stack». - Saint Petersburg: Piter, 2017. - 86 p.
- [8]. S. Kulikov «Working with MySQL, MS SQL Server and Oracle in examples» / Practical guide for programmers and testers. EPAM Systems, RD Dep, 2019 Page: 7/545

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

С.С. Бримжанова^{1,*}, С.К. Атанов¹, Х. Молдамурат², А.К. Танкибаева³,
А.Ж. Сайлау³

¹КГУ им. А. Байтұрсынова, г. Костанай, Казахстан, ²ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан ,
³Костанайская Академия МВД РК имени Ш. Кабылбаева, г. Костанай
e-mail: kameshova_88@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено тестирование – одно из наиболее технологичных форм проведения автоматизированного контроля с управляемыми параметрами качества. В этом смысле ни одна из известных форм контроля знаний с тестированием сравниться не может. Авторами создана интеллектуальная система тестирования. Создание интеллектуальной системы является актуальной задачей современной казахстанской науки и обусловлено необходимостью в оценке и проверке уровня и качества знаний, возникающей в любой деятельности человека. Новизна исследования заключается в том, что изучается эффективность внедрения открытого тестирования как прогрессивного метода контроля знаний для определения ведения дальнейших работ. Созданная система тестирования содержит задания открытой формы, где тестирующий вводит развернутый ответ. Данная система рекомендована для обучающихся очного и заочного образования, а также для центров дистанционного образования. Практические и научные результаты исследовательского проекта были внедрены в учебный процесс Костанайской Академия МВД РК имени Ш. Кабылбаева.

Ключевые слова: интеллектуальная система, приложение, оценка, контроль знаний, программа, оболочка, язык программирования, требования, код.

ЗИЯТКЕРЛІК ТЕСТІЛЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚОСЫМШАСЫН ІСКЕ АСЫРУ

С.С. Бримжанова^{1,*}, С.К. Атанов¹, Х. Молдамурат², А.К. Танкибаева³,
А.Ж. Сайлау³

¹А. Байтұрсынов атындағы ҚМУ, Қостанай қ., Қазақстан, ²Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр –
Сұлтан қ., ³ҚР ПМ Ш.Қабылбаев атындағы Қостанай Академиясы
e-mail: kameshova_88@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада сапа параметрлерімен басқарылатын автоматтандырылған бақылау жүргізудің барында технологиялық формаларының бірі – тестілеу қарастырылған. Білімді бақылаудың белгілі формаларының бірде-бірін тестілеумен салыстыруға болмайды. Авторлар зияткерлік тестілеу жүйесін құрды. Зияткерлік жүйені құру қазіргі заманғы қазақстандық ғылымның өзекті міндеті болып табылады және адамның кез келген қызметінде туындайтын білім деңгейі мен сапасын бағалау мен тексеру қажеттігіне негізделген. Зерттеудің жаңалығы одан әрі жұмыстарды жүргізуді анықтау үшін білімді бақылаудың жетілдірілген әдісі ретінде ашық тестілеуді енгізу тиімділігі болып табылады. Құрылған тестілеу жүйесі ашық формадағы тапсырмаларды қамтиды, онда тестілеуші толық жауап енгізеді. Бұл жүйе күндізгі және сырттай білім алушыларға, сондай-ақ қашықтықтан білім беру орталықтарына ұсынылады. Зерттеу жобасының практикалық және ғылыми нәтижелері Ш. Қабылбаев атындағы ҚР ПМ Қостанай Академиясы оқу үрдісіне енгізілді.

Түйін сөздер: зияткерлік жүйе, қосымша, бағалау, білімді бақылау, бағдарлама, қабық, бағдарламалау тілі, талаптар, код.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 330

BLOCKCHAIN IN EDUCATION: HOW TO MANAGE STUDENT CREDITS OF HIGHER EDUCATION THROUGH THE BLOCKCHAIN?

B. Kumalakov¹, Ya. Shakan^{2,*}

¹Department of Information systems, University of International Business, Almaty, Kazakhstan

²Faculty of Information technologies, al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi ave. 71, Almaty, Kazakhstan

e-mail: b.kumalakov@gmail.com, shakan.yasin@gmail.com

Abstract. *Currently, technologies are developing very quickly and the need for information security is constantly increasing. In this connection, Blockchain technology is becoming in demand, which allows us to keep information safety and integrity. In addition, the technology enables the creation of a decentralized environment where transactions and data are take place without any third party organization.*

We proposed a decentralized web resource based on the Ethereum platform for managing student credits. The decentralized application (Dapp), will process, manage and control tokens, which represent credits that students gain for completed certain courses. The credit system is a first step towards a more transparent and technologically advanced form which could be used by universities and students to manage credits.

The novelty of this scientific research is the creation of a web-based information resource based on Blockchain technology. Thanks to this resource, it becomes possible to track students' grades and receive reliable information about higher education. This completely eliminates the possibility of making changes to existing records.

Key words: *blockchain, higher education, credits, tokens.*

1 Introduction

Blockchain technology is becoming popular not just a financial sphere, but also are entering into more and more new spheres such as medicine, Internet of things, education, voting etc. This technology has not been ignored in the field of education. Currently, there is already a number of works interested in various aspects of the application of blockchain technologies in education, for example, [9-13] and others. However, these works are mainly focused on theoretical nature, considering the prospects of applying blockchain technologies to various issues of digitalization of education.

One of the relevant issues of education system is to create a web-based information resource based on Blockchain technology. Thanks to this resource, it becomes possible to keep records and receive reliable information about the student achievements. This completely eliminates the possibility of making changes to existing records.

This paper aims to show some practical implementation to solve this kind of problems via using blockchain. The paper considers technical details of building the appropriate decentralized application (Dapp), which could be used by universities and students to manage credits. That means, after each successful completion of a semester an employee (teacher) of the university with certain access rights could issue credits to students as tokens, when fully getting the needed number of credits/tokens, students could see their achievements, as well as could show to their potential employers or to another university.

Remainder of the paper is organised as follows. Section 2 defines the problem. Section 3 provides related works. Section 4 provides implementations. Section 5 concludes this paper.

2 Problem definition

Today, most higher education institutions keep their students' records including credits in various applications. However, these databases are designed on a centralized approach that leads to numerous drawbacks, such as mutability, privacy and reliability of records. To overcome the issue of centralized approach of storing credits, we have proposed a decentralized web resource based on the Ethereum platform for managing student credits.

Blockchain is one of the new technologies with special features like security, immutability, transparency and so on. For instance, academic credit is an important piece of learning achievements of students which confirm that student has achieved certain learning outcomes before graduating certain degrees. This information will now be decentralized and available to public so that anyone can validate this information through web application interacting with blockchain.

3 Methodology

To understand the practical implementation of the blockchain technology in education we researched and analyzed a number of materials which related to this problem, the aim was to improve practical skills in this area. Allocated more time for interacting user interface with smart contract, for this was built process model of blockchain app, as well as examined several problems associated with the practical implementation of this issue.

3 Related works

After the appearance of Bitcoin [1] in 2009, Blockchain technology has been applied to many fields, including medicine [2,3], economics [4], Internet of things [5], education [6,7], voting [8] and so on. Its underlying technique has shown promising applications prospects and attracted lots of attentions from academia and industry. Besides cryptocurrency one of the relevant areas is blockchain in education, however, the studies on the blockchain technology are still very new, reflections on the education are still at the beginning stage. Therefore, some of these few studies of the filed are briefly summarized.

One of the studies addresses the value decentralized ledgers, in particular those based on blockchain, may bring to stakeholders within the educational sector, with a particular focus on its potential for digital accreditation of personal and academic learning. As well as focuses on the feasibility, challenges, benefits and risks of the Blockchain as applied to formal and non-formal education credentials [9].

This postgraduate dissertation study addresses some problems that centralized e-learning platforms may encounter and emphasizes the importance of decentralized access control in solving these problems. In this study, a model proposal for decentralized access systems is presented. In the realization of this model, blockchain structure was utilized. Thus, it is argued that the integrity, correctness, deniability, and traceability of e-learning sources can be achieved. The mean response time was used as a metric when evaluating the proposed model. The two different network environments (such as the Local Area Network (LAN) and the Cloud Web Service (i.e. Amazon Web Service)) are compared. It is stated that LAN environment represents the most appropriate condition and the cloud environment represents the real situation in the real world. The average response time in the LAN environment is faster (about 1.5 times) than in the cloud environment, but when the number of customers is large, the difference in average response time between these two environments becomes insignificant [10].

Another study describes a decentralized learning system CHiLO which utilizes e-books. In this study provided a basic demonstration of the first stage “content exchange” and demonstrated the making of e-books while protecting copyright by using the blockchain [11].

A study in which using blockchain as a tool for tracking and verification of official degrees is addressed the main concepts of blockchain and the particular implementation of Blockcerts as an opensource solution devoted to the certification and verification of documents. As well as briefly introduce the Higher Education market in Europe to determine the volume, geography and trend of the economic sector to address the developed solution [12].

In this research blockchain in education address the fundamentals and developments of blockchain technology and suggests a reflection and a debate which should address in the near future the impact, or not, of blockchain in education [13].

4 Implementaions

Development of a web resource on the basis of the ethereum platform for managing student credits of higher education

At the moment, the product has been developed in the development environment configured locally. The following is a list of tools used to perform this test (figure 1):

- Required for the operation of a web resource: Apache web server, database (MySQL), PHP language, JavaScript/CSS

- Required for the interactions with applications over the network: NodesJS, Web3
- Required Ganache blockchain server to deploy a private blockchain on the Ethereum platform
- Required for compiling Smart Contract: Program language Soidity (Remix IDE)

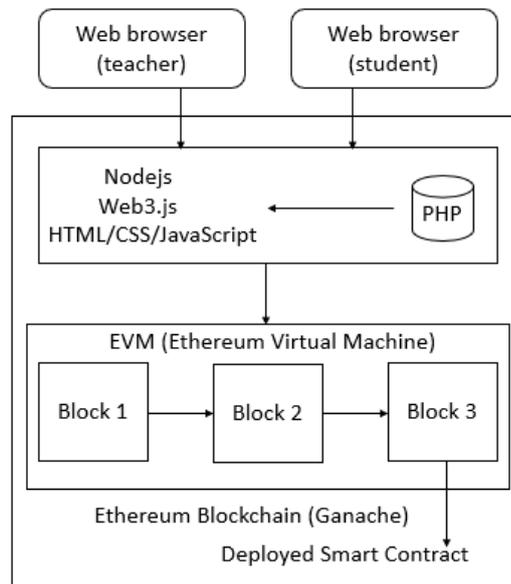


Figure 1. system flow

4.1 Description of the credit process model

For clarity, we considered the following situation: student to complete studies at the university they must get needed number of credits, after the semester of study, an employee (teacher) of the university with certain access rights update the students profile, upon successful accumulation of all credits/tokens. Ganache (blockchain server) will register a block for this student and stores the credit details in the block. As well as student, can see their achievements respectively from website. The webpage interact with the Ganache to fetch the details about the student credit. The admin / professor of the student will be able to update all the information for each students (figure 2).

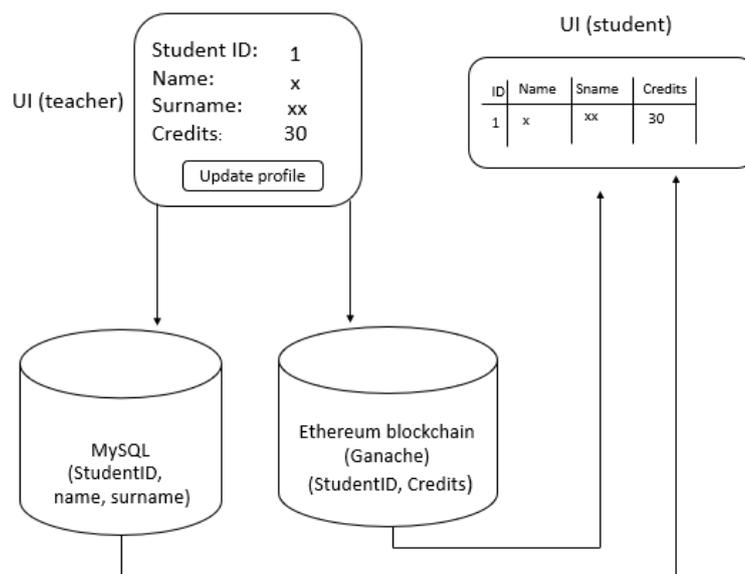


Figure 2 . student credit process model

4.2 Creating a web interface and connection with a blockchain server

When creating the web interface, we used the HTML hypertext markup language, as well as certain Javascript libraries, such as jQuery. Created special form for filling the student detail, The record consists of the following fields:

- Student ID
- First Name
- Last Name
- Credits

After clicking the button (update) located at the bottom of the form, the corresponding summary record will be store in the Blockchai as a hexedecimal format. As a result of processing the record, a web page opens with the following information: student id, first name, last name, block number and credits. Thus, a student can quickly obtain information about their achievements.

The interaction of the smart contract with the web interface is carried out thanks to the JavaScript library Web3.js. The Web3.js and Node.js library are collection of modules that contain specific functions for the Ethereum platform, which makes it easier to interact with the Ethereum Blockchain, its smart contracts and related functions. In order to make it clear the data flow diagram (DFD) is shown below (figure 3):

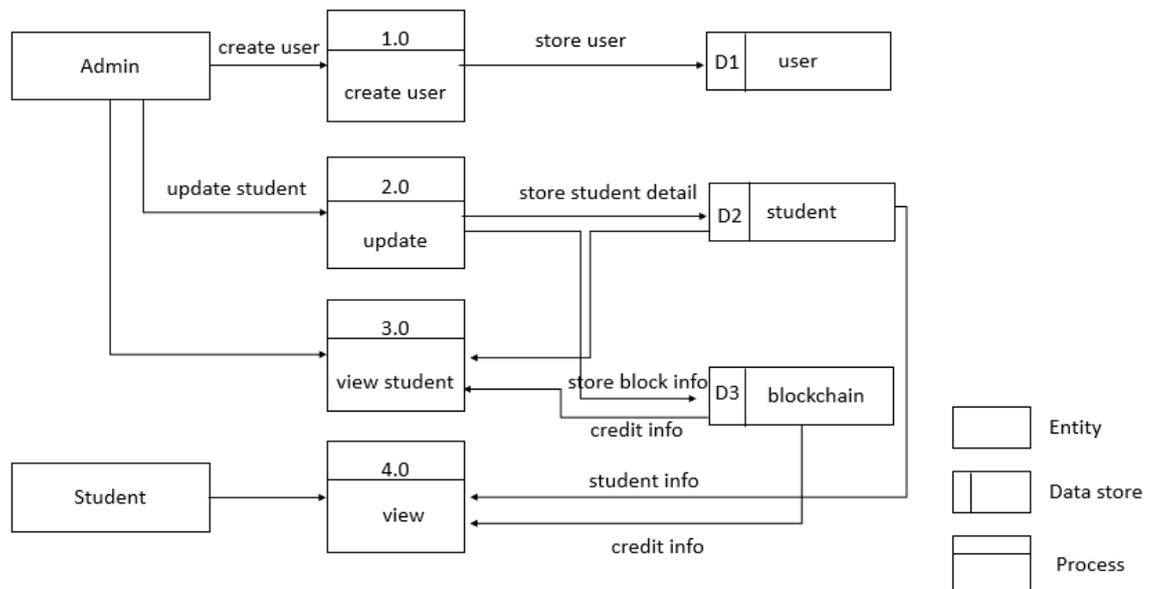


Figure 3. Data flow diagram (DFD)

5 Conclusion and future research

In this paper we explored how to use the blockchain technology in education, more precisely, proposed tracking students' grading system. Our result show that this technology can be used in other industries and spheres. During the study, we were able to learn the principles of the Blockchain technology, explore the scope of application of the Blockchain technology, develop an information web resource for managing student credits in higher education based on the Ethereum Blockchain. Firstly, the transparency and integrity of the system, this means any student in the educational process that has its own id, via this can confirm the "truth" of the their credits at any time. At the same time, the blockchain block cannot be changed or deleted from the network. Secondly, the general reduction of paper documents for proving their achievements. Of course in parallel with this there were certain problems (technical) that successfully resolved.

As a result of all this, the following practical and theoretical significance of this scientific research can be noted:

- Blockchain technology is becoming popular not just a financial sphere, but also are entering into more and more new spheres such as medicine, education, etc.

- The practical implementation of the blockchain technology in education showed that using this technology for track student's grading system in higher education is quite possible. Proof of this: system flow between web browser and Ethereum Blockchain, credit process model, web interface and connection with a blockchain server.

In our future research we intend to explore the possible solution to the problem of issuing digital certificates and related problems using blockchain, as well as we plan to extent and adapt proposed credit system to any existing grading system and thus incorporate other aspects of educational digitalization.

REFERENCES

1. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, <http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, 2008.
2. Ariel Ekblaw*, Asaph Azaria*, John D. Halamka, MD†, Andrew Lippman*, A Case Study for Blockchain in Healthcare: "MedRec" prototype for electronic health records and medical research data, 2016.
3. Sandra V. B. Jardim*, Information Technology Department, Polytechnic Institute of Tomar, Quinta do Contador, 2300-313 Tomar, Portugal, The Electronic Health Record and its Contribution to Healthcare Information Systems Interoperability, 2013.
4. Steve Huckle, Rituparna Bhattacharya, Martin White, Natalia Beloff, a University of Sussex House, United Kingdom, internet of things, blockchain and shared economy applications, 2016.
5. Abha Kiran Rajpoot*, Mukul Varshney, Aparajita Nailwal CSE, Sharda University, Greater Noida, Security and Privacy Challenges in the Internet of Things, 2016.
6. Alexander Grech, Anthony F. Camilleri, blockchain in education, Joint Research Centre (JRC), 2017.
7. Antonio Ramón Bartolomé, Carles Bellver, Linda Castañeda, Jordi Adell, BLOCKCHAIN IN EDUCATION: INTRODUCTION AND CRITICAL REVIEW OF THE STATE OF THE ART, EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, 2017.
8. Michał Pawlaka, Aneta Poniszewska, Marjańska Natalia Kryvinskabc, Towards the intelligent agents for blockchain e-voting system, 2018.
9. Alexander Grech, Anthony F. Camilleri, Blockchain in Education, 2017.
10. Ma, S. (2018). Using blockchain to build decentralized access control in a peer-to-peer e-learning platform. Doctoral dissertation, University of Saskatchewan.
11. Hori, M., Ono, S., Miyashita, K., Kobayashi, S., Miyahara, H., Kita, T., Yamada, T., Yamaji, K., (2018). Learning system based on decentralized learning model using blockchain and SNS. CSEDU 2018 - Proceedings of the 10th International Conference on Computer Supported Education Volume 1, 183-190 Funchal, Madeira; Portugal; 15 March 2018 through 17 March 2018; Code 135926.
12. Oliver, Miquel; Moreno, Joan; Prieto, Gerson; Benítez, David, Using blockchain as a tool for tracking and verification of official degrees: business model: 29th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS): "Towards a digital future: Turning technology into markets?", Trento, Italy, 1st - 4th August 2018
13. Tahir Lushi, Blockchain in Education: possibilities for a blockchain based study management system for Higher Education Institutions, September 2018.

БЛОКЧЕЙН БІЛІМ САЛАСЫНДА: ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРЫНДАРЫНДА СТУДЕНТТЕРДІҢ БАҒАСЫН БЛОКЧЕЙН АРҚЫЛЫ ҚАЛАЙ БАСҚАРУҒА БОЛАДЫ?

Б. Құмалақов¹, Я. Шақан^{2,*}

¹ Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Халықаралық бизнес университеті, Алматы, Қазақстан

² Ақпараттық технологиялар факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби д-лы. 71, Алматы, Қазақстан

e-mail: b.kumalakov@gmail.com, shakan.yasin@gmail.com

Аңдатпа. Қазіргі уақытта технологиялар өте тез дамып келеді және ақпараттық қауіпсіздікке деген қажеттілік үнемі артып келеді. Осыған байланысты, Blockchain технологиясы сұранысқа ие болуда, бұл бізге ақпараттың қауіпсіздігі мен тұтастығын сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, технология орталықтандырылмаған ортаны құруға мүмкіндік береді, онда транзакциялар мен мәліметтер қандай да бір тараптық қйымның қатысуынсыз жүзеге асырылады.

Біз студенттердің кредиттерін басқару үшін Ethereum платформасына негізделген орталықтандырылмаған веб-ресурстарды ұсындық. Орталықтандырылмаған бағдарлама (Dapp) студенттерге белгілі бір курстардан алған нәтижелерін білдіретін жетондарды өңдейді және басқарады. Несиелік жүйе - бұл университеттер мен студенттер несиелерді басқаруда қолдана алатын ашық және технологиялық тұрғыдан жетілдірілген формаға алғашқы қадам.

Бұл ғылыми зерттеудің жаңалығы - Блокчейн технологиясының негізінде ақпараттық веб - ресурстарды құру. Осы ресурстың арқасында студенттердің бағаларын бақылауға және жоғары білім туралы сенімді ақпарат алуға мүмкіндік туады. Бұл қолданыстағы жазбаларға өзгерістер енгізу мүмкіндігін толығымен жояды.

Түйін сөздер: блокчейн, жоғары білім, несиелер, жетондар.

БЛОКЧЕЙН В ОБРАЗОВАНИИ: КАК УПРАВЛЯТЬ СТУДЕНЧЕСКИМИ КРЕДИТАМИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРЕЗ БЛОКЧЕЙН?

Б. Кумалақов¹, Я. Шақан^{2,*}

¹ Кафедра информационных систем, Университет международного бизнеса, Алматы, Казахстан

² Факультет информационных технологий, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, пр. Аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан

e-mail: b.kumalakov@gmail.com, shakan.yasin@gmail.com

Аннотация. В настоящее время технологии развиваются очень быстро и потребность в информационной безопасности постоянно растет. В связи с этим технология Blockchain становится востребованной, что позволяет нам сохранять безопасность и целостность информации. Кроме того, технология позволяет создавать децентрализованную среду, в которой транзакции и данные осуществляются без какой-либо сторонней организации.

Мы предложили децентрализованный веб-ресурс на основе платформы Ethereum для управления кредитами студентов. Децентрализованное приложение (Dapp) будет обрабатывать, управлять и контролировать токены, которые представляют собой кредиты, которые студенты получают за прохождение определенных курсов. Кредитная система является первым шагом к более прозрачной и технологически продвинутой форме, которая может использоваться университетами и студентами для управления кредитами.

Новизной данного научного исследования заключается в создании информационного веб-ресурса на базе технологии Блокчейн. Благодаря этому ресурсу, появляется возможность сделать отслеживание оценок студентов и получать достоверную информацию о высшем образовании. При этом полностью исключается возможность вносить изменения в существующие записи.

Ключевые слова: блокчейн, высшее образование, кредиты, токены.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

МРНТИ 20.23.17; 20.23.21; 20.23.25

ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ СӨЙЛЕМДЕР ҮШІН ТӘУЕЛДІЛІК АҒАШТАРЫН ҚҰРУ

М.Е. Мансурова, Н.Қ. Қадырбек, А.М. Мисебай, М.Е. Қырғызбаева*

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы
mansurova.madina@gmail.com, nurgaliqadyrbek@gmail.com, armanbek128@mail.ru,
marzhan.kyrgyzbaeva@gmail.com

Аңдатпа. Табиғи тіл – бұл фонетикалық, морфологиялық, лексикалық, синтаксистік, семантикалық деңгейлер секілді әртүрлі деңгейлер ерекшеленетін күрделі құрылым. Табиғи тілдегі мәтіндерді автоматты түрде өңдеуге арналған талдаушының ішінде сөйлемнің негізгі семантикалық құрылымын анықтауға мүмкіндік беретін синтаксистік талдаушы ерекше орын алады. Бұл жұмыста семантикалық құрылымды анықтауға және сөйлемге синтаксистік талдау жасауға мүмкіндік беретін қазақ тілінде сөйлемдерге тәуелділік ағаштарын құру алгоритмі көрсетілген. Тәуелділік ағашы сөйлемдегі синтаксистік қатынастар ережелерімен құрылған бағдарланған граф арқылы ағаш қаңқасы негізінде жасалады.

Түйін сөздер: тәуелділік ағаштары, тәуелділік грамматикасы, корпуслық лингвистика, синтаксистік құрылым, тіркестердің формалды моделі.

Кіріспе

Грамматиканың құрамдас бөлігі саналатын синтаксистің негізгі зерттеу нысаны – тілдің синтаксистік құрылымы. Синтаксистік құрылым дегеніміз – әр түрлі тұлғада өзара тіркесіп келіп жұмсалатын сөздердің сөйлем құраудағы жүйелі ережелері мен заңдарының жиынтығы. Сөйлем – белгілі бір тілдегі грамматикалық заңдылықтар бойынша ұйымдасқан, ойды жеткізудің, хабарлаудың басты құралы болып табылатын біртұтас тілдік бірлік. Жалпы тіл білімінде сөз синтаксисіне қатысты зерттеулерде сөйлемнің тұлғалық жағынан ұйымдасуы немесе предикативті түзіліс (конструкция) ыңғайындағы құрылымы басты назарда болды. Бұл формалды құрылым деп аталады. Зерттеу мақаласына сөйлемнің осы синтаксистік сипаты назарға алынып, тәуелділік ағашын құруға негіз болды [1].

Тәуелділік ағаштары – сөйлемнің синтаксистік құрылымын бейнелеудің ең көрнекі және ең көп таралған тәсілі. Бұл жағдайда сөйлем бағдарланған ағашты (төбелер — сөйлемдегі токендер) құруға болатын элементтердің сызықтық реттелген жиыны (сөз тіркестері) ретінде ұсынылады. Түйіндердің жұбын байланыстыратын қабырға бағыты бағыныңқыдан басыңқыға сәйкес келеді, қосымша мәлімет ретінде қабырғаны синтаксистік қатынас арқылы маркерлеуге болады.

Тәуелділік ағаштарының тағы бір қолданылу мысалы ретінде [2] жұмысты келтіруге болады. Бұл жұмыста тәуелділік ағаштарын қолдана отырып сөйлемдер арасындағы ұқсастықты бағалау әдісі келтірілген.

Тәуелділік ағашы сөйлемнің синтаксистік құрылымын бейнелейді деуге негіз бар. Қазіргі таңда ережелерге сүйенетін екі түрлі әдіс қолданылады: *фулькрумдер әдісі* және *сүзгілер әдісі*. Біз қазақ тілі үшін сүзгілер әдісін таңдап алдық.

Фулькрумдер әдісі синтаксистік ағаштардың түбірін немесе кейбір тірек түйінді сөздерді іздестіруге негізделген, олар одан әрі тағайындалған ережелерге сәйкес басқа сөздермен байланысқа түседі. *Сүзгілер әдісі* синтаксистік қатынастың барлық ережелерін бір мезгілде қолдану арқылы, барлық мүмкін сөз тіркестері шығарып алынады, содан кейін алынған құрылым (бағдарланған граф) сүзгіден өтеді. Біз алдағы уақытта сүзгілер әдісін қолданамыз.

Тәуелділік ағашын құрудағы басты қиындық сөйлемдегі сөз тіркестерінің арасында сабақтас және салалас байланыстардың қатар болуы. Өйткені салалас сөздердің арасында тәуелділік қатынасын орнату қиын/мүмкін емес, олар әдетте тыныс белгілері арқылы яки шылаулар («және», «немесе...», «немесе...» т.с.с.) арқылы байланысып, бір деңгейде тұрады. Демек құрмалас сөйлемдерді, сөйлемнің бірыңғай мүшелерін, айқындауыш мүшелерді қарастыру өз алдына үлкен тақырып.

Тәуелділік грамматикасы таксономиялық бірліктермен жұмыс істейді. Тәуелділік грамматикасындағы барлық байланыстар бағынышты деп қарастырылады. Талғат Сайрамбайұлының ғылыми зерттеулерінде сөз тіркестері және жай сөйлем синтаксисіне қатысты өзекті мәселелерді қарастырған, демек сөйлемдегі токендердің орын тәртібінде белгілі бір қатаң заңдылық бар деп айтуға болады [3].

Біздің мәтіндік талдауыш тәуелділік ағашын құру үшін бірнеше сатыдан тұратын процесті жүзеге асырады: *сегментация – морфологиялық талдау – мүмкін сөйлем формаларын генерациялау – мүмкін сөз тіркестерін анықтау.*

Тәуелділік грамматикасы негізінде сөйлем синтаксисі:

1) сөйлемдегі сөздер арасындағы барлық байланыстар иерархиялық түрдегі тәуелділік арқылы анықталады,

2) сөйлемдегі барлық токендер талдау ағашының төбелерін қамтиды,

3) ағаштың түбірі ретінде предикат (ол көрсетілмеген жағдайда предикатқа нұсқайтын оның атрибуты) алынады. Субъект пен баяндауыш (қимыл) арасында қиысу синтаксистік қатынасы бар, бастауышқа баяндауыштың бағынуын А.Т. Аширова өз зерттеулерінде дәйектеген [4]. Дегенмен, ол бағынықтылық тек морфологиялық сөзжасам тұрғысынан болғандықтан және предикат семантикасы оған қолданылатын субъектіні анықтайтындығын ескердік.

Қазіргі заманғы тәуелділік грамматикасы көбінесе француз лингвисті Луи Теньердің идеяларына негізделеді. Тәуелділік ағашын құру барысында синтаксистік тәуелділікті анықтаудың бірнеше критерийлері бар:

1) грамматикалық байланыс критеріі – екі сөз синтаксистік байланысқан деп саналады, олар бірге қандай да бір синтаксистік ережеге бағынса (қиысу, матасу, т. б.);

2) сызықтық позиция критеріі – екі сөз синтаксистік байланысқан болып саналады, егер бір сөз формасының сызықтық позициясы (сөйлемдегі позиция, сөз тіркестері) басқа сөз тіркестерінің сызықтық позициясымен анықталса;

3) күрделі сөйлемдерде субъектілік-объектілік тәртіп өзгеріссіз болады, ал барлық қосалқы тұрлаусыз элементтер предикатқа дейін болады [5].

Бэкус формалды моделін қолдана отырып қазақ тіліндегі сөйлемдердің формальді моделін (ФМ) төмендегіше белгілеуге болады (1-сурет):

SENTENCE::=<SP><OP><VP>|<SP><VP><OP>|<OP><SP><VP>|<VP><SP><OP>|<VP><OP><SP>
>

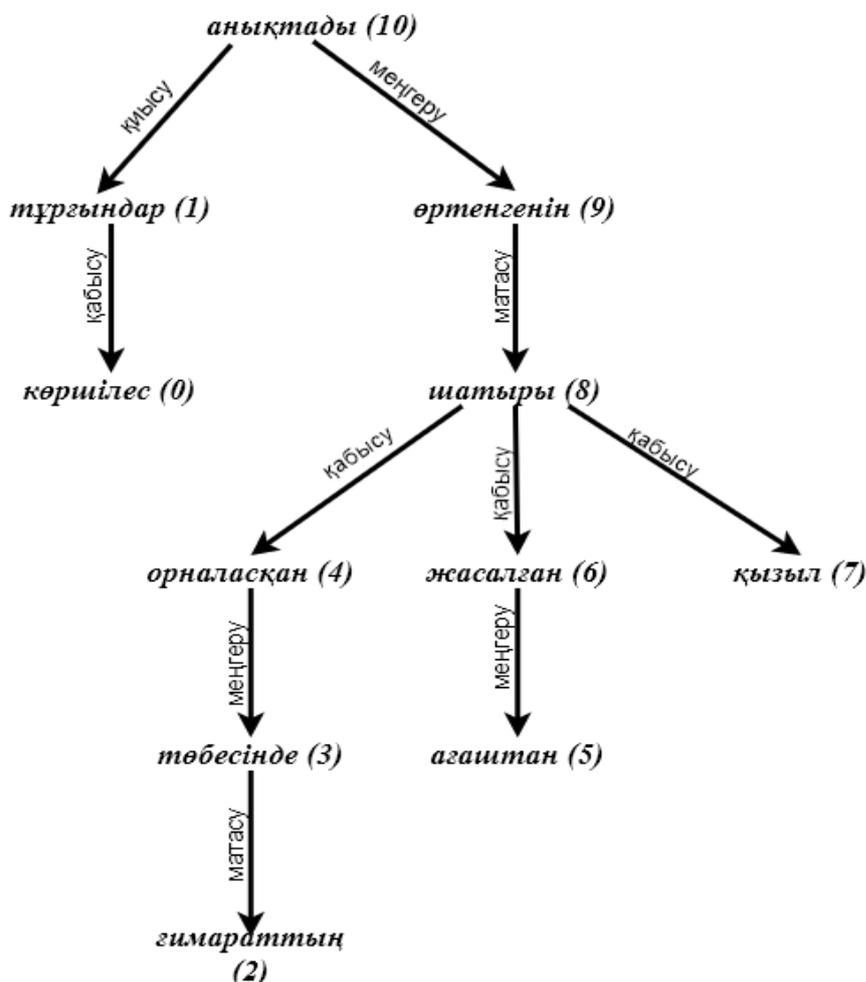


Сурет 1 – Бэкус формалды моделі

<SP><VP><OP> Шәкірттер тапсырды соңғы емтиханды
<OP><SP><VP> Соңғы емтиханды шәкірттер тапсырды
<VP><SP><OP> Тапсырды шәкірттер соңғы емтиханды
<VP><OP><SP> Тапсырды соңғы емтиханды шәкірттер

Мұндағы, *SP* – субъектілік фразалық құрылымы, *VP* – егістік/предикаттық фразалық құрылымы, *OP* – Объектілік фразалық құрылымы.

Келтірілген ережедегі фразалық құрылымды келесідей ашып жазуға болады:



<SP>::=<N>|<ADJ><SP>|<NUM><SP>|<N><SP>|<SP><CONN><SP>
<OP>::=<N>|<ADJ><OP>|<NUM><OP>|<OP><CONN><OP>

Сурет 2 – Тәуелділік ағашы

<VP>::=<VP >|<AUX><VP>|<ADV><VP>

Мұндағы: N – зат есім, NUM – сан есім, ADJ – сын есім, ADV – үстеу, CONN – шылау, AUX – көмекші егістік.

Бұл жерде, әрбір фразалық құрауыш (SP, OP, VP) күрделі сөз тіркестерінен тұруы мүмкін. 2-суретте «Көрішілес тұрғындар ғимараттың төбесінде орналасқан ағаштан жасалған қызыл шатыры өртенгенін анықтады» сөйлемінің тәуелділік ағашы келтірілген, әрбір төбеде сөздердің сөйлемдегі индексі де көрсетілген. Әуелі келесі қадамдар арқылы мүмкін синтаксистік қатынастарды анықтаймыз:

1) Сөйлем ұзындығына сәйкес 0-дік іргелестік матрицасы құрылады: Егер қандайда бір [i,j] қабырғасы белгіленсе мұнда i басты, ал j бағыныңқы сөздерге сәйкес келеді

2) Қосымша қатынасы ізделінеді: бүкіл шылаулармен көршілес сөздер анықталынады. Әдетте мұндай байланыс жанасуға жатқызылады. Дегенмен алдағы уақыттағы семантикалық талдаулар үшін мұндай байланыстарды ажырата білу мақсатқа жақынырақ

3) Қиысу қатынасындағы сөздер ізделінеді: Мейілінше сөйлем басына жақын, және ағаш түбірімен байланыса алатын сөз;

- 4) Көршілес сөздер арасынан қабысу қатынасындағы сөздер ізделінеді;
 5) Матасу ізделінеді;
 6) Жанасу байланысын ізделінеді.

Ескерту: *әрбір бағыныңқылық қатынас фразалық құрылым аясында локальды екеін ескеру қажет.*

Қазіргі уақытта сөз тіркестері арасындағы синтаксистік тәуелділіктер 1-кестеде көрсетілген ережелер бойынша анықталуда.

Кесте 1- Синтаксистік байланыс түрлері

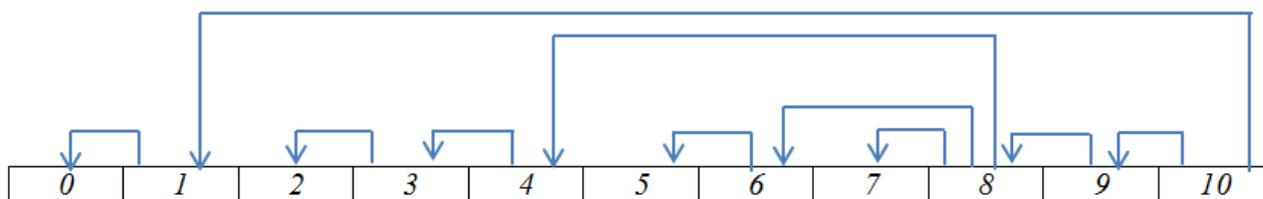
Байланыс түрі	Фразалық құрылым (мысал)	Ереже <i><бағыныңқы><басты> қазіргі таңда бағдарламада қолданылатын ережелер</i>
Қиысу	<SP> – <VP>	Сөздердің жіктік және көптік жалғауы арқылы байланысуы
Матасу	<N> – <SP>	Ілік септігіндегі сөз бен тәуелдік жалғаулы сөздің байланысуы <i><сөз+ІС><сөз+ТӘУЕЛДІК> <сөз><сөз+ТӘУЕЛДІК> <емістік+есімше+ІС><сөз+ ТӘУЕЛДІК ></i>
Меңгеру	<OP> – <VP>	Сөздердің ілік септіктен басқа септіктердің жалғаулары арқылы байланысуы <i><сөз+ТС>, <сөз+БС>, <сөз+КС>, <сөз+ЖС>, <сөз+ШС></i>
Қабысу	<ADJ> – <SP> <ADJ>– <OP>	Сөздердің ешбір жалғаулықсыз тек орын тәртібі арқылы қатар тұрып байланысуы. Әдетте Олардың арасына басқа сөз енгізуге келмейді. <i><зе><зе>, <сын><зе>, <сан><зе>, <есім><зе>, <зе+БС><есімше>, <сөз+ТС/ЖС/ШС/КС><есімше>, <үстеу><зе/сын/сан/есімдік ></i>
Жанасу	<ADV>– <VP>	Сөздердің ешбір жалғаулықсыз бірде іргелес, бірде алшақ тұрып байланысуы. Негізінен үстеу мен етістік жанаса байланысады <i><үстеу><етістік> <көсемше><етістік></i>

Әрине, қазақ тілінде сөздердің интонация арқылы да, пунктуация арқылы да, көмекші сөздер арқылы да байланысуы мүмкін. Алайда, әзірше бұл жағдайларды қарастырмай, зерттеу нәтижелілігін тексеру үшін қарапайымырақ жағдаймен шектелеміз, яғни талдауыш әрқашан байланған бағдарланған граф қайтаратын жағдайды ғана қарастырамыз.

Егер барлық тәуелділік қатынасты көрсететін нұсқауыш сөйлем орналастырылған түзуде бір бағытта жүргізілсе, және бірде-бір нұсқауыш басқа нұсқауышты қиып өтпесе, сөйлем *проективті* деп аталады. 2-суретте қарастырылған сөйлемді екі түрлі фразалық модель арқылы проективтілікті бейнелейік (3, 4-суреттер):

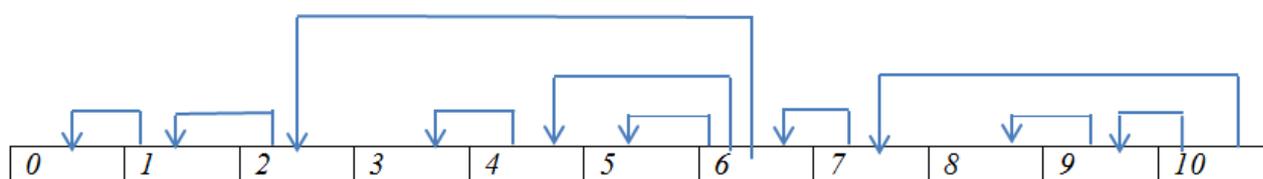
а) *Көршілес(0) тұрғындар(1) гимараттың(2) төбесінде(3) орналасқан(4) ағаштан(5) жасалған(6) қызыл(7) шатыры(8) өртенгенін(9) анықтады(10).*

(Фразалық модель: <SP><OP><VP>)



Сурет 3 – а) мысалы үшін синтаксистік байланыс бағытын көрсететін сөйлемнің фразалық моделі

б) *Гимараттың(0) төбесінде(1) орналасқан(2) ағаштан(3) жасалған(4) қызыл(5) шатыры(6) өртенгенін(7) көршілес(8) тұрғындар(9) анықтады(10).*
(Фразалық модель : <OP><SP><VP>)



Сурет 4 – б) мысалы үшін синтаксистік байланыс бағытын көрсететін сөйлемнің фразалық моделі

Көріп отырғанымыздай, сөйлемнің фразалық моделі әртүрлі ретпен орналасса да проективтілік қасиеті сақталды. Бұл өз кезегінде, сөйлемдегі сөздердің синтаксистік байланысы сызықты тәуелділік арқылы жүзеге асуымен түсіндіріледі. Жоғарыда келтірілген ФМ сөйлемнен синтаксистік байланыстарды іздеу барысында пайда болатын жалған байланыстарды болдырмау үшін қолданылады. Себебі әрбір синтаксистік байланысты ФМ аясында локализациялайды.

Тәуелділік ағаштарын құруда мүмкін синтаксистік қатынастағы сөз тіркестері ішінен негізгі/негізгіге жақын тәуелділік ағашын іріктеп алуда екі түрлі тәсілді қолданамыз: біріншісі, ағаш қаңқасы арқылы, екіншісі, Бэкус формальді моделін қолдана отырып сөйлемді негізгі SP, VP, OP құрауыштарға ажыратып, ережелерге сүйену;

Ағаш қаңқасы (каркасы) деп – $G \langle V, E \rangle$ графының барлық төбелерін қамтитын ағашты айтамыз, мұндағы V – граф төбелері, сөйлемдегі токендер жиыны, E – граф қабырғалары, сөз тіркестері арасындағы тәуелділікті көрсетеді. Takeaki Uno өз жұмыстарында ағаш қаңқаларын және бағдарланған графтан оны алу жолдарын көрсеткен, сонымен қатар бір графтан бірнеше ағаш қаңқасы алынуы мүмкін. Себебі графтың кейбір төбелері арасында бірнеше тәсілмен жол құруға болады [6].

Ағаш қаңқасын табу алгоритмін келтірейік:

1) G графынан ішкі граф құрайтын ағаш бола алатын u_1 төбесін таңдап аламыз, мысалы оны $i=1$ деп ұйғарамыз (әдетте қиысу қатынасын құрайтын сөз тіркестерінің басыңқы жұбы таңдап алынады);

2) Егер $i=n(G)$ болса, онда есеп аяқталады және G_i ізделген ағаш қаңқасы болады. Басқа жағдайда 3-қадамға көшеміз;

3) айталық G графының ішкі графы болатын $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ төбелерін қамтыған G_i графы құрылған болсын, мұндағы $1 \leq i \leq n - 1$. Әрі қарай G_i графындағы u_i төбесіне іргелес жаңа $u_{i+1} \in V$ төбені қосып G_{i+1} графын құрамыз, осылайша $\{u_{i+1}, u_i\}$ қабырғасы қосылады. Бұлай жасауға еш кедергі жоқ, себебі біздің ұйғарымымызда граф – байланған. Сондай-ақ, G_{i+1} – ағаш, себебі G_i графы цикл қамтымаған болатын. $i:=i+1$ орындай отырып әрі қарай жалғастырамыз, яғни 2) қадамға көшеміз.

Нәтижелер

Жоғарыда мысалда қарастырылған сөйлем үшін біздің талдауыш тәуелділік графын құрды және оның іргелестік матрицасы келесідей болады:

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 0 2 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 5 3 0 0 0
0 0 0 0 0 2 0 0 2 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0
    
```

Мұндағы, матрицадағы көрсетілген сандар келесі мағынаны білдіреді: 1 – қиысу, 2 – меңгеру, 3 – матасу, 4 – жанасу, 5 – қабысу, 6 – қосымша.

Талдауыш қарастырылған сөйлем үшін 4 түрлі ағаш қаңқасы нұсқаларын қайтарады (5-сурет):

1)	2)	3)	4)
the graph is:	the graph is:	the graph is:	the graph is:
vertex 0 : []			
vertex 1 : [10, 0]			
vertex 2 : []			
vertex 3 : [2]			
vertex 4 : [3]	vertex 4 : [3]	vertex 4 : []	vertex 4 : []
vertex 5 : []			
vertex 6 : [5]	vertex 6 : []	vertex 6 : [5, 3]	vertex 6 : [3]
vertex 7 : []			
vertex 8 : [4, 6, 7]			
vertex 9 : [8]	vertex 9 : [8, 5]	vertex 9 : [8]	vertex 9 : [8, 5]
vertex 10 : [9]			

Сурет 5 – 2-суреттегі мысал үшін ағаш қарқасы

Мұндағы 1-нұсқа ақиқат мәндегі күтілген нәтижемен 100%, ал 2-нұсқада 90%, 3-нұсқада 90%, 4-нұсқада 80% сәйкес келеді.

Сонымен қатар, тәуелділік ағашын құру арқасында сөйлемді талдау барысында пайда болатын омонимияны шешуде оң нәтижеге жетуге болады. Себебі бұл таңдап алынған сөйлем үшін жалпы генерацияланған сөйлемдер саны 24 болатын. Күтілген нәтижені іріктеп алуда тәуелділік ағашы ішінара қолданылды.

Синтаксистік құрылымдарды тәуелділік ағаштары түрінде ұсынудың кемшіліктері:

1) сөйлемнің әрбір формальды түрде бөлінген кіруін сөйлемнің жеке элементі ретінде қарастырудың қатаң талабы;

2) фразалар арасындағы барлық байланыс бағынышты деп түсіндіріледі.

Қорытынды

Қазақ тіліндегі сөздер арасындағы байланысты автоматты түрде дәл көрсетуде бірқатар қиындықтар бар: сөйлемдегі сөз тіркестерінің арасында сабақтас және салалас байланыстардың болуын, қыстырма сөздердің, ауыспалы мағынадағы сөздердің, фразеологизмдердің қолданылуын айта аламыз.

Сөйлемді бағдарланған байланған граф ретінде кескіндеп, ағаш қаңқаларын анықтау арқылы сөйлем үшін ақиқат немесе ақиқатқа жақын ағаштарды аламыз. Сөйлемді граф түріне аударуда алдын-ала тағайындалған ережелер арқылы мүмкін синтаксистік қатынастар құрылады. Тәуелділік

ағаштары сөйлемдегі сөздердің нақты орын тәртібін көрсетпейді, тек сөздердің байланыс иерархиясын кескіндейді және қазақ тілінің орыс тілінен басты ерекшелігі ретінде сөйлемнің проективті болуын айта аламыз.

Бұл жұмыс ҚР БҒМ О.0856 BR05236340 «Қазақстан Республикасының цифрлы экономикасын қалыптастыру шеңберінде «логистикалық-агломерациялық» жүйесінің талдау және шешім қабылдау жоғары өнімді зияткерлік технологияларын құру» және АР05132933 «Шешім қабылдау сапасын жақсарту үшін деректердің гетерогенді көздерінен білімді алу жүйесін құру» жобалары шеңберінде жасалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Батура, Т. В. Математическая лингвистика и автоматическая обработка текстов : учеб. пособие / Новосибир. гос. ун-т. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. – 166 с.
2. Saziye Betul Ozates, Arzucan Ozgur, Dragomir R. Radev. Sentence Similarity based on Dependency Tree Kernels for Multi-document Summarization // Қолжетімділік режимі: <https://www.aclweb.org/anthology/L16-1452.pdf>, еркін [13.01.2019].
3. Сайранбаев Т. Қазақ тіл білімінің мәселелері. Алматы, Абзал ай: 2014. – 640 б.
4. Аширова А.Т. Сөздердің тіркесу тәсілдері мен байланысу формалары / Herald of journalism № 37(1). – 2016.
5. Ж. Мейрамбекқызы, А.А. Хорошилов. Синтактико-семантические представления для развития казахско-русского фразеологического машинного перевода / Труды V международной конференции по компьютерной обработке тюркских языков «Turklang 2017», Казань, Россия, 2017.
6. Takeaki UNO. An Algorithm for enumerating all directed spanning trees in a directed graph // Қолжетімділік режимі: <http://research.nii.ac.jp/~uno/papers/isaac96web.pdf>, еркін [20.01.2019].

LIST OF REFERENCES

1. Batura, T. V. Matematicheskaya lingvistika i avtomaticheskaya obrabotka tekstov: ucheb. posobiye / Novosib. gos. un-t. – Novosibirsk: RITS NGU, 2016. – 166 s.
2. Saziye Betul Ozates, Arzucan Ozgur, Dragomir R. Radev. Sentence Similarity based on Dependency Tree Kernels for Multi-document Summarization // Availability Mode: <https://www.aclweb.org/anthology/L16-1452.pdf>, еркін [13.01.2019].
3. Sairanbaev T. Kazak til biliminin maseleleri. Almaty, Abzal ai: 2014, - 640 b.
4. Ashirova A.T. "Sozderdin tirkesu tasilderi men bailanysu formalary Herald of journalism № 37(1). - 2016.
5. J. Meyrambekkyzy, A.A. Khoroshilov. Sintaktiko-semanticheskije predstavleniya dliya razvitia kazakhsko-russkogo phraseologygycheskogo mashinnogo perevoda / V international conference on computer processing of Turkic languages "Turklang 2017", Kazan, Russia, 2017.
6. Takeaki UNO. An Algorithm for enumerating all directed spanning trees in a directed graph // Availability Mode: <http://research.nii.ac.jp/~uno/papers/isaac96web.pdf>.

СОЗДАНИЕ ДРЕВА ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ

М.Е. Мансурова, Н.К. Кадырбек, А.М. Мисебай, М.Е. Кыргызбаева*

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

e-mail: mansurova.madina@gmail.com, nurgaliqadyrbek@gmail.com, armanbek128@mail.ru,
marzhan.kyrgyzbaeva@gmail.com

Аннотация. Естественный язык является сложной структурой, в которой выделяются различные уровни: фонетический, морфологический, лексический, синтаксический, семантический. Особое место среди анализаторов для автоматической обработки естественно-языковых текстов занимает синтаксический парсер, который позволяет определить основную смысловую структуру предложения. В данной работе представлен алгоритм построения дерева зависимостей предложений на казахском языке, который позволяет выявить смысловую структуру и выполнить синтаксический анализ предложения. Дерево зависимостей создается на основе остовного дерева из ориентированного графа, построенного посредством правил синтаксических отношений в предложении.

Ключевые слова: дерево зависимостей, грамматика зависимостей, корпусная лингвистика, формальная модель фраз.

DEVELOPMENT OF THE DEPENDENCY TREES FOR THE KAZAKH LANGUAGE SENTENCES

M.E. Mansurova, N.K. Kadyrbek, A.M. Misebay, M.E. Kyrgyzbayeva*

Kazakh national university named after al-Farabi, Almaty, Republic of Kazakhstan
e-mail: mansurova.madina@gmail.com, nurgaliqadyrbek@gmail.com, armanbek128@mail.ru,
marzhan.kyrgyzbaeva@gmail.com

Abstract. Natural language is a complex structure in which various levels are distinguished: phonetic, morphological, lexical, syntactic, semantic. A special place among analyzers for the automatic processing of natural language texts is occupied by the syntactic parser, which allows you to determine the main semantic structure of the sentence. In this paper, an algorithm for constructing a sentence dependency tree in the Kazakh language is presented. It allows you to identify the semantic structure and perform syntactic analysis of the sentence. A dependency tree is created on the basis of a spanning tree from a directed graph constructed by the rules of syntactic relations in a sentence.

Keywords: Dependency tree, dependency grammar, corpus linguistics, syntactic structure, phrase structure rule.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

МРНТИ 20.23.17; 20.23.21; 20.23.25

МӘТІНДЕРДЕН АТАУЛЫ МӘНДЕРДІ АЛУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

М.Е. Мансурова, Б.Б. Досанов, Д.Ю. Чикибаева

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы
e-mail: mansurova.madina@gmail.com, dossanbekzhan@gmail.com, dashachikibaeva@mail.ru

Аңдатпа. Атаулы мәндерді алу – табиғи тілдегі мәтіндерден ақпараттың құрылымдық көрінісін алуға мүмкіндік беретін шешімдер жиыны. Атаулы субъектілердің, адам, ұйым, орын, уақыт, мөлшер атауларын және т.б анықтау міндеті мәтін ішінен негізгі нысандарды табуға мүмкіндік береді. Мұндай есептерді шешу машиналық оқыту әдістерін қолдануға негізделеді. Машиналық оқыту көмегімен құрылымды емес мәтіндер ішінен атаулы мәндерді алу оңайға соғады. Бұл зерттеу жұмысында *train data* үшін қазақ тіліндегі мәтіндер ішінен қала, тұлға, ұйым атаулары қолмен белгіленді, жиналған мәліметтерге BERT машиналық оқыту әдісі көмегімен оқыту жүргізіліп, модель құрастырылды. Нәтижесінде қазақ тіліндегі атаулы мәндерді алуға арналған Web бағдарлама әзірленді.

Түйінді сөздер: атаулы мәндер, атаулы мәндерді алу, машиналық оқыту, BERT әдісі.

Кіріспе

Қазіргі таңда әр түрлі салалардағы ақпараттық инфрақұрылымның үнемі жетілдірілуі, Интернет желісінде миллиардтаған адамдардың бір бірімен ақпарат алмасу нәтижесінде қол жетімді цифрлық ресурстар біздің индустриалды қоғамымызда айтарлықтай өсті. Бір жағынан ақпарат көздері мен көлемі көп болса, екінші жағынан пайдалы мәліметтердің тығыздығы төмендейді. Соның нәтижесінде құрылымды емес мәтіндердің көптігінен құнды, керекті мәліметтерді алу қиынға соғады. Қазіргі таңда мәліметтер құрылымды емес үлкен көлемде және алуан түрлі болғандықтан ақпаратты талдау, өңдеу және керекті мәліметті алу қиынға соғады. Құрылымды емес үлкен мәтіндерді өңдеу, мәтін ішінен атаулы мәндерді алу, талдау үшін қолданатын шешімдер де көбейіп жатыр. Үлкен көлемдегі мәтіндер ішінен атаулы мәндерді алуға терең оқыту және машиналық оқыту технологиялары көмегімен қол жеткізуге болады.

Атаулы мәндерді алу (NER – Named Entity Recognition) – табиғи тілдерді өңдеудің (Natural Language Processing) негізгі мәселелерінің бірі болып табылады. Атаулы мәндерге құрылымды емес мәтіндер ішінен тұлға есімдері (names), ұйым атаулары (organization), географиялық объектілер, мекен-жайлар (locations), күндер (dates) және күрделі жағдайларда олардың арасындағы байланыстар, сондай-ақ оқиғалар, себеп-салдарлық байланыстар, өнімдерді жатқызамыз. Сондай-ақ, осы тізімге электрондық мекенжайлар, телефондар, белгілі бір деректер түрлері (мысалы, IP мекенжайлары) сияқты мәндерді де қосуға болады.

Атаулы мәндерді алу міндеті мәтіндегі атаулы мәндерді бөлу және жіктеу болып табылады. CoNLL 2003 конференциясы аясында ағылшын тіліндегі корпуста төрт типтегі атаулы мәндерді тану әдістерінің сапасын бағалау үшін жарыс өткізілді. NER есебін шешу үшін әртүрлі тәсілдер ұсынылды. Сол тәсілдер арасында құрылымды емес сөйлемдер ішінен атаулы мәндерді тануда машиналық оқытуға негізделген әдістер жоғары нәтиже көрсетті.

Атаулы мәндерді алу әдістері

Атаулы мәндерді алу MUC-6 конференциясында ақпаратты алудың маңызды қосалқы құралы ретінде анықталды. Ең жиі қолданылатын салыстырмалы тәсілдерді үш санатқа бөлуге болады: ережелер мен сөздіктерге негізделген әдістер, статистикалық және аралас. Бастапқыда NER ережелер мен сөздіктерге негізделген әдіснамаларды пайдаланды, олар пәндік сала бойынша сарапшылардың

ережелер жиынтығын әзірлеуді және тиісті лингвистерді пайдалануды талап етеді. Дегенмен ережелер барлық тілдік құбылыстарды қамтымайды, құрастыру кезеңі тым үлкен, сонымен қатар, мұндай тәсілге төзімділіктің аз ықтималдығы бар [1]. Статистикалық әдістер негізінен жасырын маркалық модельдерді (HMM) [2], максимальды энтропияны (ME) [3], тірек векторлары машиналарын (SVM) [4] және CRF [5] қамтиды. Әдістердің бұл түрлері модельді статистикалық ықтималдықпен ұштастыра оқыту үшін таңбаланған корпустық деректерді пайдаланады. Зерттеушілер сонымен бірге fishery data [6], dietary data [7] және Chinese legal documents data [8] сияқты белгілі бір домендік субъектілер үшін NER зерттеулерін жүргізді. BERT машиналық оқыту моделі – ең танымал модельдердің бірі болып табылады.

BERT әдісі

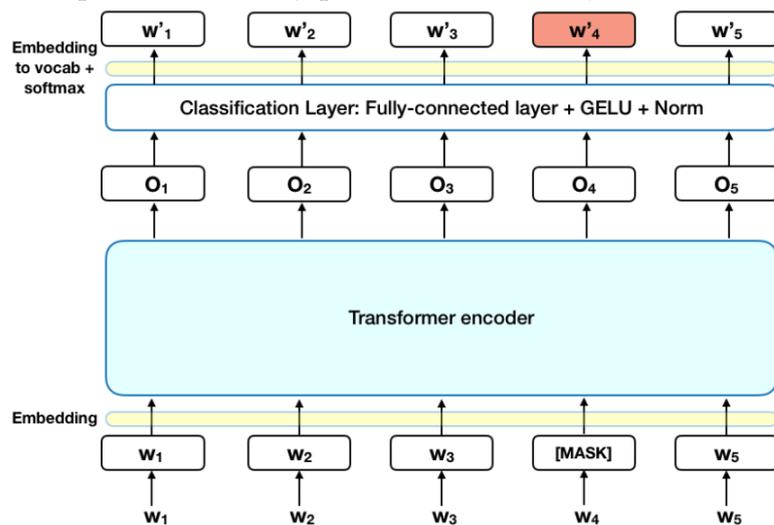
BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – бұл «трансформерлер» ретінде белгілі бір тізбектермен жұмыс істеу үшін жаңа архитектураның машиналық оқытуға негізделген табиғи тілді өңдеу әдісі. Бұл 2018 жылы Google инженерлері жасаған және жариялаған жаңа технология болып табылады [9]. BERT алгоритмінің ерекшелігі – сөйлемдегі немесе сұрақтағы сөздер жиынтығын жақсырақ түсінуге мүмкіндік беретін екі бағытты «кодерлер» қолданылауында. BERT әдісінің көмегімен тілдік модельдерін жаттықтыру сөйлемдегі сөздердің толық жиынтығы негізінде екі бағытты оқыту болып табылады, ал NLP дәстүрлі модельдері тілдік модельдерді сөздердің реті бойынша (оңнан солға немесе солдан оңға қарай) оқытады.

Зерттеудің әдіснамалық негіздері

Каноникалық түрде атаулы мәндерді алу есебіне кіріс мәліметі ретінде табиғи тілде мәтін беріледі, ал есептің шешімі мәтін ішінен атаулы мәндерді алу болып табылады.

Бастапқы кіріс деректері бірінші кезекте токендерге бөлінеді. BERT әдісінде WordPiece-ке негізделген алдын ала белгіленген токенизация моделі бар. Токенизация көмегімен кейбір сөздер түбір болып қалады, ал кейбіреулері, атап айтқанда, бейтаныс сөздер бөліктерге бөлінеді. Мұндай әдіс оқытылған кіріс деректерінде кездеспеген сөздер болған жағдайда жақсы. Сондай-ақ, бұл күрделі сөздерді жақсы ұсынуға мүмкіндік береді. Қол жетімді BERT модельдерінің әрқайсысы үшін сәйкес токенизатор ұсынылады. Бұл жұмыста 104 тілді қамтитын "BERT-base-multilingual-cased" моделі қолданылды.

Бұл жұмыста тағы трансферттік оқыту тәсілі қолданылады - баптау (ағылш. Fine-Tuning). Бұл тәсілде модельдегі сөздер салмағы, оның ішінде алдыңғы жаттығу BERT жаңартылады. Алынған таңбаларды атаулы мәндер бойынша жіктеу үшін сызықтық жіктеуші қолданылады.



Сурет 1 – BERT машиналық оқыту әдісінің архитектурасы [9]

Тәжірибелік жұмыс

Қазақ тіліндегі құрылымды емес сөйлемдер ішінен атаулы мәндерді алу үшін практикалық құрамдас бөлігі қойылған міндетті шешудің әр түрлі сатыларына сәйкес келетін бірнеше кезеңге бөлінген:

- 1) Қазақ тілінде құрылымды емес мәтіндердің корпусын жинақтау;
- 2) Пәндік аймаққа байланысты атаулы мәндерді зерттеу және бастапқы кіріс деректерін дайындау;
- 3) Машиналық оқыту әдістерін оқыту және жаттықтыру;
- 4) Нәтижелерді сандық бағалау көрсеткіштерін таңдау;
- 5) Құрылымды емес сөйлем ішінен атаулы мәндерді анықтауға арналған Web бағдарлама құрастыру.

Мәтіндердің корпусын жинақтау

Машиналық оқыту негізінде train data оқытуы үшін мәтіндер корпусы ретінде қазақ тіліндегі жаңалықтар таңдалынды. Стawl көмегімен жаңалықтар ішінен тек қазақ тіліндегі сөйлемдер json форматында жинақталды. Жазбаларды іріктеу және атаулы мәндерді қамтымайтын жазбаларды бөлу үшін іздеу критерилері кең таралған аттарды, белгілі адамдардың тектерін, сондай-ақ жаңалықтық мәтіндерден іріктеу негізінде құрылған, талданған ұйымдардың атауларын қамтыды. Әр жазба ішінде кемінде 1 атаулы мән болуы шарт. Нәтижесінде корпуста қазақ тіліндегі 170 мың жазба жиналды.

Негізгі атаулы мәндерді зерттеу

Біздің бағдарламада атаулы мәндерге негізгі 3 атаулы мәнді алдық:

- 1) Person
- 2) Location
- 3) Organization

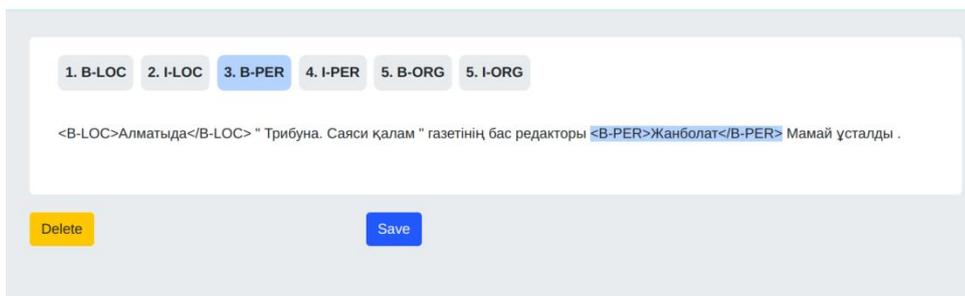
Атаулы мәндердің шекарасын белгілеу үшін IOB (Inside–outside–beginning) форматы қолданылды. IOB форматы – бұл компьютерлік лингвистикада күрделі тапсырмаларда таңбалауыштарды белгілеуге арналған жалпы белгілеу форматы. IOB форматында: B белгісі атаулы мәнің басталуын білдіреді, I – оның ішіндегі орналасуы; O белгісі атаулы мәнге кірмейтін таңбалар белгіленеді.

Қазақстанның /B-LOC	
бас /O	
санитар /O	B Begin - атаулы мәнің басталуы
дәрігері /O	I Inside - атаулы мәнің жалғасы
Жандарбек /B-PER	O Outside - атаулы мәнге қатысты емес сөз
Бекшин /I-PER	
коронавирус /O	PER PERSON - тұлға аты
бойынша /O	LOC LOCATION - географиялық объект атауы
қауіпті /O	ORG ORGANIZATION - ұйым атауы
елдердің /O	
жаңа /O	
тізімін /O	
жариялады /O	
. /O	

Сурет 2 – Таңбалау мысалы

Машиналық оқыту әдістерін оқыту және жаттықтыру

Мәліметтер қазақ тіліндегі жаңалықтар таңдалынды. Train data үшін корпус мәліметтері 4 түрлі типке (Person, Location, Organization және Other) қолмен белгіленді. Корпус мәліметтерін белгілеу үшін арнайы бағдарлама құрастырылды.



Сурет 3 – Атаулы мәндерді белгілеуге арналған бағдарлама

Нәтижесінде машиналық оқытуға бастапқы кіріс мәліметі ретінде 6 мың мәтін белгіленді. Келесі қадам қазақ тіліндегі құрылымды емес сөйлем ішінен атаулы мәндерді алуға арналған модельді құрастыру үшін мәліметтерді BERT машиналық оқыту әдісімен оқытамыз.

Нәтижені бағалау

Нәтижені бағалау кезінде атаулы мәндердің өлшемі келесі екі шарттың дұрыс болған кезінде көрінеді:

- Атаулы мән шекарасы дұрыс бөлінген;
- Атаулы мән дұрыс танылған.

Алгоритмнің сапасын өлшеу үшін үш сандық бағалау таңдалды:

1) Дәлдігі

$$P = \frac{\text{(дұрыс танылған атаулы мәндер саны)}}{\text{(барлық таңдалған атаулы мәндер саны)}} \quad (1)$$

2) Толықтығы

$$R = \frac{\text{(дұрыс танылған атаулы мәндер саны)}}{\text{(корпустағы атаулы мәндер саны)}} \quad (2)$$

3) F-өлшем

$$F = \frac{2PR}{P+R} \quad (3)$$

Төмендегі кестеде F-өлшем бағалуы бойынша қазақ тіліндегі жиналған корпуста атаулы мәндерді тану нәтижесі көрсетілген.

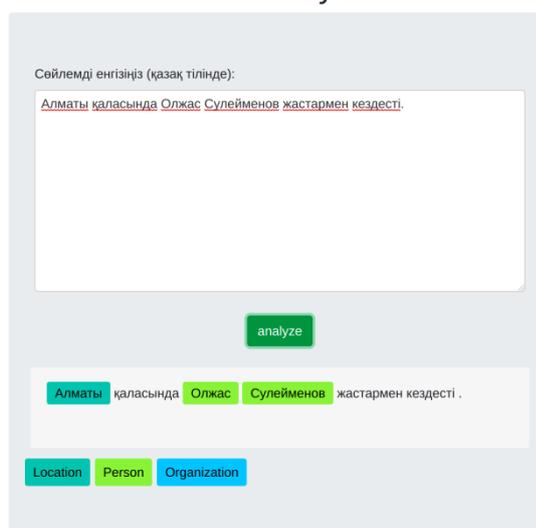
Кесте 1 – F-өлшем бағалуы бойынша атаулы мәндерді тану нәтижесі

Алгоритм	P	R	F1
BERT	83.43	77.09	80.14

Web бағдарлама құрастыру

Қолданушы енгізген мәтін ішінен машиналық оқыту негізінде атаулы мәндерді алу үшін Web бағдарлама әзірленді.

NER analyzer



Сурет 4 – Атаулы мәндерді тануға арналған бағдарлама

Қорытынды

Бұл жұмыста қазақ тіліндегі құрылымды емес мәтіндер ішінен атаулы мәндерді алу үшін машиналық оқыту әдісі негізінде жүйе әзірленді. Машиналық оқыту әдісі ретінде BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) таңдалынды. Нәтижесінде BERT машиналық оқыту әдіс көмегімен атаулы мәндерді алуға арналған модель құрастырылып, жүйе әзірленді. F-өлшем бойынша 80.14% алдық.

Болашақта алгоритм сапасының сандық бағалауларының мәндерін жоғарылату үшін бастапқы кіріс деректеріне морфологиялық талдау жасап, терең оқыту (deep learning) қолдану жоспарланып отыр.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. D. M. Bikel, S. Miller, R. Schwartz, and R. Weischedel, “Nymble: a high-per-formance learning name-finder,” in Proceedings of Fifth Conference on Applied Natural Language Processing, pp. 194–201, Washington, DC, USA, April 1997.
2. A. E. Borthwick, “A maximum entropy approach to named entity recognition,” New York University, New York City, NY, USA, 1999, Master’s Dissertation.
3. H. Isozaki and H. Kazawa, “Efficient support vector classifiers for named entity recognition,” in Proceedings of 19th International Conference on Computational Linguistics, pp. 1–7, Taipei, Taiwan, September 2002.
4. A. McCallum and W. Li, “Early results for named entity recognition with conditional random fields, feature induction and web-enhanced lexicons,” in Proceedings of Seventh Conference on Natural Language Learning at HLT-NAACL, vol. 4, pp. 188–191, Edmonton, Canada, May 2003.
5. Y. Liu, “Named entity recognition in Chinese Micro-blog based on deep learning,” Advanced Engineering Sciences, vol. 48, no. 2, pp. 142–146, 2016.
6. J. Sun, H. Yu, and Y. Feng, “Recognition of nominated fishery domain entity based on deep learning architectures,” Journal of Dalian Ocean University, vol. 33, no. 2, pp. 265–269, 2018.
7. Q. Wei, T. Chen, R. Xu, Y. He, and L. Gui, “Disease named entity recognition by combining conditional random fields and bidirectional recurrent neural networks,” Database, vol. 2016, Article ID baw140, 2016.
8. L. Zhang, C. Qin, and W. Ye. Research on legal field entity automatic recognition model based on conditional random fields // New Technology of Library and Information Service, vol. 11, pp. 46–52, 2017.
9. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding / Artificial Intelligence Conference.-New York, 2019.

LIST OF REFERENCES

1. D. M. Bikel, S. Miller, R. Schwartz, and R. Weischedel, “Nymble: a high-per-formance learning name-finder,” in Proceedings of Fifth Conference on Applied Natural Language Processing, pp. 194–201, Washington, DC, USA, April 1997.
2. A. E. Borthwick, “A maximum entropy approach to named entity recognition,” New York University, New York City, NY, USA, 1999, Master’s Dissertation.
3. H. Isozaki and H. Kazawa, “Efficient support vector classifiers for named entity recognition,” in Proceedings of 19th International Conference on Computational Linguistics, pp. 1–7, Taipei, Taiwan, September 2002.
4. A. McCallum and W. Li, “Early results for named entity recognition with conditional random fields, feature induction and web-enhanced lexicons,” in Proceedings of Seventh Conference on Natural Language Learning at HLT-NAACL, vol. 4, pp. 188–191, Edmonton, Canada, May 2003.
5. Y. Liu, “Named entity recognition in Chinese Micro-blog based on deep learning,” Advanced Engineering Sciences, vol. 48, no. 2, pp. 142–146, 2016.
6. J. Sun, H. Yu, and Y. Feng, “Recognition of nominated fishery domain entity based on deep learning architectures,” Journal of Dalian Ocean University, vol. 33, no. 2, pp. 265–269, 2018.

7. Q. Wei, T. Chen, R. Xu, Y. He, and L. Gui, "Disease named entity recognition by combining conditional random fields and bidirectional recurrent neural networks," Database, vol. 2016, Article ID baw140, 2016.

8. L. Zhang, C. Qin, and W. Ye, "Research on legal field entity automatic recognition model based on conditional random fields," New Technology of Library and Information Service, vol. 11, pp. 46–52, 2017.

9. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding / Artificial Intelligence Conference.-New York, 2019.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИМЕНОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ ИЗ ТЕКСТОВ

М.Е. Мансурова, Б.Б. Досанов, Д.Ю. Чикибаева

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

e-mail: mansurova.madina@gmail.com, dossanbekzhan@gmail.com, dashachikibaeva@gmail.com

Аннотация. Извлечение именованных сущностей – это набор решений, позволяющий получить структурную картину информации из текстов на естественном языке. Основная задача состоит в том, что необходимо определить названия так называемых субъектов, физических лиц, названия организаций, мест, времени, количества и т. д. Позволяет найти в тексте основные объекты. Основывается на использовании машинных методов обучения для решения таких задач. С помощью машинного обучения находим именованные сущности из неструктурированных текстов. В этой исследовательской работе мы создали систему, используя машинный метод обучения BERT для казахского языка, который получает текст на естественном языке и выводит из текста именованную сущность. Кроме того, был создан корпус текстов на казахском языке, размеченный вручную названия городов, физических лиц и организаций.

Ключевые слова: именованные сущности, named entity recognition, машинное обучение, метод BERT.

APPLYING OF MACHINE LEARNING METHODS FOR NAMED ENTITY EXTRACTION FORM THE TEXTS

M.E. Mansurova, B.B. Dossanov, D.Yu. Chikibaeva

Kazakh national university named after al-Farabi, Almaty, Republic of Kazakhstan
mansurova.madina@gmail.com, dossanbekzhan@gmail.com, dashachikibaeva@gmail.com

Abstract. Extracting named entities is a set of solutions that allows you to get a structural picture of information from texts in a natural language. It is necessary to determine the names of subjects, individuals, the name of the organization, places, time, quantity, etc. allows you to find the main objects in the text. They are based on the use of machine learning methods to solve such problems. Using machine learning, we find named entities from unstructured texts. In this research work, we created a system using the BERT machine learning method for the Kazakh language, which receives natural language text and derives a named entity from the text. In addition to the base of texts in the Kazakh language, a manually-labeled name of the cities, individuals and organizations was created.

Keywords: named entities, named entity recognition, machine learning, method BERT.



ВОПРОСЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ, ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.141

К ВОПРОСУ ПЛАНИРОВАНИЯ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ СТУДЕНТОВ В КРЕДИТАХ ECTS

Э.А. Сериков*

Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан
e-mail: ernestserikov@mail.ru

***Аннотация.** Последние изменения нормативных документов в 2018 году окончательно подвели черту в вопросе реформирования системы высшего образования. Казахстан успешно вошел в мировое образовательное пространство и стал его полноправным членом. Уменьшение объема казахстанского кредита KZCS до 30 часов требует внесения определенных изменений в систему планирования учебной нагрузки по конкретным дисциплинам и образовательной программы в целом.*

***Ключевые слова:** казахстанский кредит, академический час, объем учебной дисциплины в кредитах, кредитная технология обучения, распределение учебной нагрузки по видам занятий.*

В соответствии с приказом Министра образования и науки РК от 12.10.2018 № 563 [1] внесены изменения в Правила организации учебного процесса по кредитной технологии обучения, утвержденные приказом № 152 от 20 апреля 2011 года [2]. Изменения коснулись ряда вопросов организации кредитной технологии обучения. Наиболее принципиальными, с точки зрения планирования учебной работы студентов, являются следующие изменения.

1. Трудоемкость одного казахстанского академического кредита снижена до **30 академических часов** и соответствует 1 кредиту ECTS (25-30 академических часов).

P.S. Ранее 1 кредит KZCS соответствовал 45 часам работы обучающегося [2].

2. Один академический час аудиторной работы равен 50 минутам для **всех видов занятий** и работы обучающегося.

P.S. В соответствии с Правилами организации учебного процесса по кредитной технологии обучения 2011 года один академический час аудиторной работы обучающегося может быть равен 50, 75 или 100 для различных видов занятий [2].

3. Учебные планы разрабатываются в двух формах:

- 1) индивидуальные учебные планы (далее – ИУП);
- 2) рабочие учебные планы (далее – РУП).

P.S. Ранее содержание образовательной программы определялось, прежде всего, типовым учебным планом специальности, утверждаемым уполномоченным органом в области образования. [2].

4. В РУПах и ИУПах регламентируются только дисциплины обязательного компонента (ОК) цикла общеобразовательных дисциплин (ООД). В циклах базовых и профилирующих дисциплин обязательный компонент отсутствует. Указанные циклы формируются **из дисциплин вузовского компонента (ВК) и компонента по выбору (КВ)**.

P.S. Циклы базовых дисциплин (БД) и профилирующих дисциплин (ПД) согласно Правилам 2011 года включают дисциплины обязательного компонента и компонента по выбору [3].

5. Объем каждой учебной дисциплины составляет целое число академических кредитов. При этом дисциплина оценивается объемом **не менее 5 академических кредитов**. Допускается оценивание дисциплины в 3-4 академических кредита.

P.S.. Согласно Правилам кредитной технологии обучения 2011 года дисциплины оцениваются объемом не менее 3 кредитов. Допускается, как исключение, оценивание дисциплины в 2 кредита. [3].

6. Каждая учебная дисциплина изучается в одном академическом периоде и завершается итоговым контролем в виде промежуточной аттестации. Планирование теоретического обучения и промежуточной аттестации осуществляется **единым объемом кредитов**, т. е. общее количество кредитов на каждую дисциплину включает как ее изучение, так и подготовку и прохождение форм промежуточной аттестации по данной дисциплине.

P.S. Промежуточная аттестация обучающихся проводится в период экзаменационной сессии (за пределами академического периода) с целью оценки качества освоения обучающимися содержания всего объема учебной дисциплины. Продолжительность экзаменационной сессии должна составлять не менее 1 недели [3].

7. Профессиональная практика является обязательным видом учебной работы обучающегося. При организации учебного процесса допускается ведение профессиональной практики **как параллельно с академическим периодом (вариант 1), так и отдельно от него (вариант 2)**.

P.S. 1) Общий объем всех видов профессиональных практик (учебной, производственной и преддипломной) должен составлять не менее 6 кредитов. По группе специальностей «Технические науки и технологии» он может составлять от 6 до 15 кредитов [3].

2) По умолчанию время на прохождение практик не входит в объем академического периода (за исключением преддипломной практики), так как учебный год состоит из академических периодов, периода промежуточной аттестации, практик и каникул [2].

I. Организация учебного процесса по кредитной технологии обучения

По первому варианту организации практик (см. пункт 7) общий объем образовательной программы за весь период обучения (таблица 1) равен 240 кредитам (графа 2) или 7200 часам, в том числе:

- физическая культура – 8 кредитов (240 часов);
- итоговая аттестация – 12 кредитов или 360 часов (графа 9);
- практика – 26 кредитов (графа 4).

Объем теоретической подготовки за весь период обучения составляет 5820 часов (графа 8).

С учетом 4-летнего срока обучения семестровая нагрузка студента составляет 900 часов (30 кредитов). В течение семестра студент изучает 5-6 дисциплин объемом 4-6 кредитов (в среднем 5 кредитов), в связи с чем по окончании академического периода на этапе промежуточной аттестации он сдает соответствующее количество экзаменов (графа 10).

Продолжительность экзаменационной сессии составляет 20-24 дня (графа 12) из расчета: 3 дня по 8 часов на подготовку к экзамену по одной дисциплине плюс четвертый день на собственно экзамен (примерно 3 часа). Увеличение продолжительности экзаменационной сессии до 3 недель должно положительно сказаться на качестве усвоения дисциплин (обобщение всего теоретического материала как единого целого, закрепление основных положений).

Таблица 1 составлена для случая, когда время работы студента на практике включено в общий объем модуля с дисциплинами, содержание которых соответствуют программе практики (по 1-2 кредита на дисциплину). Объем этих дисциплин может быть увеличен до 7 кредитов. В этом случае объем оставшихся семестровых дисциплин может быть уменьшен до 4 кредитов, исходя из условия сохранения общего объема образовательной программы в 240 кредитов.

Основными видами профессиональной практики являются учебная, производственная и преддипломная практики.

На I курсе следует продумать вопрос о включении в вузовский компонент цикла БД дисциплины «Введение в специальность» (или ее аналога), что станет основанием для проведения учебной практики.

Все виды производственных практик могут быть организованы параллельно с академическим периодом или отдельно от него по завершении экзаменационной сессии. Продолжительность практик определяется в неделях, исходя из нормативного времени работы студента на практике в течение недели, равного 30 часам (6 часов в день при 5-дневной рабочей неделе).

Преддипломная практика проводится в течение 8 семестра и помимо сбора материалов для проектирования может использоваться для получения рабочих профессий.

Таблица 1 – Распределение учебной нагрузки студента в течение всего периода обучения
(практика включена в объем семестровой нагрузки, общий объем программы – 240 кредитов)

Курс	Семестр	Общий объем программы в кредитах	Практика		Физ. воспитание кредит/час	Объем теоретического обучения (без практики и физкультуры)	
			кредиты	часы		кредиты	часы
1	2	3	4	5	6	7	8
I	1	30	-	-	2/60	28	840
	2	30	1*	30	2/60	27	810
II	3	30	2*	60	2/60	26	780
	4	30	2*	60	2/60	26	780
III	5	30	2*	60	-	28	840
	6	30	2*	60	-	28	840
IV	7	30	-	-	-	30	900
	8	30	17**	510	-	1***	30
Итого		240	26	780	8/240	194	5820

* практика проводится параллельно с академическим периодом или за его пределами

** преддипломная практика и обучение рабочим профессиям

*** комплексный экзамен

Продолжение таблицы 1

Курс	Семестр	Итоговая аттестация	Промежуточная аттестация		
			Количество экзаменов	Объем часов подготовки к аттестации	Продолжительность сессии, дни
1	2	9	10	11	12
I	1	-	5	150	20
	2	-	5	150	20
II	3	-	5	150	20
	4	-	5	150	20
III	5	-	6	180	24
	6	-	6	180	24
IV	7	-	6	180	24
	8	12	1***	30	6
Итого за весь период обучения		12	39	1170	158

*** комплексный экзамен

В рассматриваемом варианте организация практики параллельно с академическим периодом (т. е. одновременно с теоретическим обучением) может быть реализована только для специальностей, связанных с информационными системами и компьютерной техникой. Это обусловлено тем, что для указанных специальностей материальная база включает в себя в основном компьютерную технику. По техническим специальностям учебная и производственные практики могут быть организованы на предприятиях и в организациях, где имеется соответствующее технологическое оборудование. В этом случае практика проводится по завершении теоретического курса обучения.

Следует отметить, что за основу организации учебного процесса по кредитной технологии обучения в большинстве случаев (как и в рассмотренном варианте) принимается семестр продолжительностью

15 недель. Вместе с тем Правила кредитной технологии обучения допускают организацию учебного процесса в виде триместров и кварталов, характеристики которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Общая характеристика академических периодов

Академич. период (АП)	Кол-во недель	Кол-во читаемых дисциплин за АП	Объем работы студентов за АП		Промежуточная аттестация	
			Кредиты	Часы	Кол-во экз.	Кол-во дней сессии
Семестр	15	6	30	900	6	24
Триместр	10	4	20	600	4	16
Квартал	7-8	3	15	450	3	12

Во втором варианте расчета учебной нагрузки общий объем учебной работы студентов за весь период обучения (таблица 3) равен 249 кредитам (графа 3) или 7470 часов. Вариант реализуется в случае организации учебной и производственных практик отдельно от академического периода (за пределами учебного года). Включение указанных практик сверх программы в 240 кредитов позволяет увеличить время теоретического обучения до 6090 часов и унифицировать организацию учебного процесса в течение 7 академических периодов (графа 7, 8).

В течение семестра студент изучает 5-6 дисциплин объемом 4-6 кредитов (в среднем 5 кредитов), в связи с чем в экзаменационные сессии сдается 5-6 экзаменов (графа 10). Продолжительность сессии составляет 20-24 дня (графа 12).

Время на подготовку и сдачу экзамена относится к самостоятельной работе студентов, осуществляемой за пределами академического периода. Это время включено в общий объем, выделяемый на дисциплину, и по количеству часов (примерно 27-30) соответствует 1 академическому кредиту. В связи с этим объем теоретической подготовки в семестре сокращается до 690-720 часов.

Таблица 3 – Распределение учебной нагрузки студента в течение всего периода обучения (учебная и производственные практики включены сверх программы бакалавриата в 240 кредитов)

Курс	Семестр	Общий объем программы в кредитах	Практика		Физ. воспитание кредит/час	Объем теоретического обучения (без практики и физкультуры)	
			кредиты	часы		кредиты	часы
1	2	3	4	5	6	7	8
I	1	30	1**	30	2/60	28	840
	2	31			2/60	28	840
II	3	30	4**	120	2/60	28	840
	4	34			2/60	28	840
III	5	30	4**	120	-	30	900
	6	34			-	30	900
IV	7	30	-	-	-	30	900
	8	30	17***	510	-	1****	30
Итого за весь период обучения		249*	26*	780	240	203	6090

* с учетом практик на I- III курсах

** проводится в конце каждого учебного года

*** преддипломная практика и обучение рабочим профессиям

**** комплексный экзамен

Продолжение таблицы 3

Курс	Семестр	Итоговая аттестация, кредиты	Промежуточная аттестация		
			Количество экзаменов	Объем часов подготовки к аттестации	Продолжительность сессии, дни
1	2	9	10	11	12
I	1	-	5-6	150-180	20-24
	2	-	5-6	150-180	20-24
II	3	-	5-6	150-180	20-24
	4	-	5-6	150-180	20-24
III	5	-	6	180	24
	6	-	6	180	24
IV	7	-	6	180	24
	8	12	1****	30	6
Итого за весь период обучения		12	39-43	990-1110	158-174

**** комплексный экзамен

Объем аудиторной работы студента в семестре равен 250-270 часов, что составляет не менее 30% общего объема семестровой загрузки. Объем СРС равен 590-630 часов, включая 150-180 часов на промежуточную аттестацию, которая осуществляется за пределами академического периода. На собственно СРС в течение семестра выделяется примерно 450 часов.

При продолжительности семестра 15 недель и 5-дневной учебной неделе объем ежедневной аудиторной загрузки студента составляет 3,6 часа. На СРСП, которая условно относится к аудиторной работе студента, выделяется 0,5-1 час в неделю на каждую дисциплину или 45-90 часов на семестровую программу в целом. Таким образом, ежедневная аудиторная работа студента составляет 4,1-4,6 часа. С учетом вышесказанного недельная нагрузка студента на протяжении семестра составляет 46-48 часов или примерно 8 часов в день.

II. Планирование учебной дисциплины

При планировании учебного процесса по конкретной дисциплине следует учитывать следующие моменты.

Исходя из условия равномерности учебной работы студентов, все виды аудиторных занятий должны проводиться на протяжении всего академического периода. В этом случае для дисциплины объемом 5 кредитов аудиторная работа в семестре будет равна 45 академическим часам (30% от общего объема), которые распределяются по видам занятий по одному из вариантов:

- а) лекции – 15 часов, практические занятия – 15 часов, лабораторные занятия – 15 часов;
- б) лекции – 15 часов, лабораторные занятия – 30 часов;
- в) лекции – 30 часов, практические занятия – 15 часов и т. д.

Следует отметить, что число 15 (или 30) часов не соответствуют содержанию одного академического кредита КЗС, в котором объем аудиторной работы составляет лишь 30% (т. е. 10 часов) от общего объема кредита. Остальное время (примерно 20 часов) отводится для самостоятельной работы студентов.

Для упрощения составления рабочего учебного плана целесообразно использовать понятие условного кредита (УК), равного аудиторной работе студента в неделю в часах на протяжении академического периода. Численно условный кредит равен продолжительности академического периода в неделях. Объем же СРС по дисциплине определяется по установленным нормам затрат на отдельные виды внеаудиторной работы и не входит в объем условного кредита.

Для академических периодов в виде триместра и квартала распределение объемов работы студентов по видам занятий также должно осуществляться из условия соотношения времени контактной работой студента с преподавателем и СРС не менее 30% от объема каждой дисциплины (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение объемов работы студентов в часах по видам занятий отдельной дисциплины объемом 5 кредитов*

Академи- ческий период (АП)	Лекции		Практ. занятия		Лабор. занятия		Объем СРС в часах за АП		Всего объем часов за АП	Соотн. ауд. занятий и СРС в %
	Кол- во УК в недел ю	Объем часов за АП	Кол-во УК в неделю	Объем часов за АП	Кол-во УК в неделю	Объем часов за АП	СРСП	ССРС		
Семестр	1	15	1	15	1	15	15	75	150	30
Триместр	1,5	15	1,5	15	2	20	10	90	150	33
Квартал	2	15	2	15	2	15	15	75	150	30

* – в случае отсутствия в дисциплине практических занятий или лабораторных работ условный кредит этих занятий распределяется по другим видам занятий;

При разработке syllabusов дисциплин с различным объемом кредитов, с учетом всех видов работ (таблица 5), предлагается следующий порядок планирования учебной работы студентов.

Таблица 5 – Содержание титульного листа дисциплины

Объем модуля или дисциплины в кредитах	6-7*	5	4	3**
Учебный год (курс)	2-3	1-4	1-4	1
Семестр	÷	÷	÷	2
Объем дисциплины в кредитах KZCS (ECTS)	5	5	4	2
Общее количество часов	150	150	120	60
Из них:				
Лекции	15	15	15	30
Практические занятия	15	15	15	-
Лабораторные работы	15	15	15	-
Самостоятельная работа студентов (СРС)	75	75	45	10
В том числе:				
СРСП	15	15	15	10
Собственно СРС (включая РГР)	60	60	30	-
Экзамен (подготовка и сдача)	30	30	30	20
Практика, включенная в модуль	30-60*	-	-	30**

* Производственная практика включена в модуль данной дисциплины

** Учебная практика включена в модуль дисциплины «Введение в специальность»

ЛИТЕРАТУРА

[1] Правила организации учебного процесса по кредитной технологии обучения, разработанные в соответствии с приказами МОН РК №563 от 12.11.2018 и № 152 от 20.04.2011.

[2] Правила организации учебного процесса по кредитной технологии обучения, утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 20.04 2011 года №152.

[3] Государственный общеобязательный стандарт высшего образования, утвержденный постановлением Правительства Республики Казахстан от 23 августа 2012 года № 1080.

REFERENCES

[1] Rules of organization of educational process on credit technology of study, developed in accordance with the orders of the MES RK №563 from 12.11.2018 and № 152 from 20.04.2011 (in Russ).

[2] Rules for the organization of the educational process on credit technology of training, approved by the order of the Minister of education and science of the Republic of Kazakhstan dated 20.04 2011 No. 152 (in Russ).

[3] State mandatory standard of higher education, approved by the decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated August 23, 2012 No. 1080 (in Russ).

СТУДЕНТТЕРДІҢ ОҚУ ЖҮКТЕМЕСІН ECTS КРЕДИТ ЖҮЙЕСІНДЕ ЖОСПАРЛАУ МӘСЕЛЕСІ

Э. А. Серіков*

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы қ., Қазақстан
e-mail: ernestserikov@mail.ru

Аңдатпа. 2018 жылғы нормативтік құжаттардың соңғы өзгерістері жоғары білім беру жүйесін реформалау мәселесіне әкелді. Қазақстан әлемдік білім кеңістігіне сәтті еніп, оның толыққанды мүшесі болды. KZCS қазақстандық кредит көлемінің 30 сағатқа дейін азайтылуы нақты пәндердің оқу жүктемесін жоспарлау жүйесіне және жалпы білім беру бағдарламасына белгілі бір өзгерістер енгізуді талап етеді.

Түйін сөздер: қазақстандық кредит, академиялық сағат, оқу пәнінің кредит жүйесіндегі көлемі, кредиттік оқыту технологиясы, оқу жүктемесін тапсырма түрлері бойынша бөлу.

TO THE QUESTION OF PLANNING STUDENT WORKLOAD IN ECTS CREDITS

E. A. Serikov*

Non-profit joint-stock company “Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev”, Almaty, Kazakhstan
e-mail: ernestserikov@mail.ru

Abstract. The latest changes of 2018 in the regulatory documents have finally drawn a line in the issue of reforming the higher education system. Kazakhstan successfully entered the world educational space and became its full member. Reduction of Kazakhstan's KZCS credits up to 30 hours requires making certain changes to the system of planning the schedule of hours for specific disciplines and the educational program as a whole.

Keywords: Kazakhstan credit, academic hour, volume of academic discipline in credits, credit technology of training, distribution of academic workload by types of activities.