

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

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

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/YBCY7199>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., доктор PhD

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., доктор PhD

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

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

МАЗМҰНЫ

Адамова А. Д., Оралбекова Ж. О., Жартыбаева М. Г., Ұзаққызы Н.
Ақпаратты кедергіге орнықты кодтау әдісі – турбо-кодтарды зерттеу 11

Аканова А. С., Оспанова Н. Н., Казанбаева А.С., Анарбекова Г. А., Шарипова С.Е.
Машиналық оқытудағы болжау әдістері: шолу және салыстыру21

Акишев К. М., Төлегулов А. Д., Байжарықова М., Карпов В. И., Аяп Р.
Тау кен фермасын резервтік энергиямен жабдықтауды басқарудың автоматтандырылған жүйесін ұйымдастырудың тиімділігін бағалау33

Алимова Ж. С.
Деректердегі жасырын байланыстарды анықтау әдістері туралы49

Бектасова А. А., Ашимова А. К., Шакенов К. Б., Сарсенбаев Е. А.
Жел энергетикасы жабдықтарын дамыту және талдау перспективалары60

Бермагамбетов Ж. Ш., Озаркова А.И., Утегулов А. Б., Кошкин И. В.
Қостанай облысындағы төмен және орта электр қазандықтарының меншік қажеттілігінің энергетикалық тиімділігін арттыру үшін генералдық жүйесін енгізу75

Жалмагамбетова Ұ. Қ., Казамбаев А. М., Жусупекова Н. Ж. Джусупова Э. М.
Қатты отынмен және биогазбен дербес энергиямен жабдықтау91

Жумагулов М. Г., Баубек А. А., Грибков А. М., Глазырин С. А., Долгов М. В.
Пайдаланған май оттықтарын жануға шолу102

Исабеков Д. Д., Марковский В. П., Темирбулатов К. Р. Аксенов В. И., А. П. Плевако
Электрқозғалтқышқылардың альтернативтік ток қорғау 116

Керибаева Т.Б., Алибекқызы К., Кошеков К. Т., Байдилдина А. Т., Біріктірілген ұшқышсыз ұшу аппараттары топтарын модельдеу әдісі.....127

Колесников Е. Н., Жуматаев Н. Ш., Новожилов А. Н., Рахимбердинова Д. М., Новожилов Т. А.
Екі магниттік өткізгіші бар магниттік ток түрлендіргіші142

Колесниченко Н. Ю., Крутоус С. Ф.
Феррорезонанс құбылысын зерттеу152

Құрманбаев Ф. Б., Махамбаева И. У., Камалова Г. Н., Бекзулда Н. Ф.
Қазақстан Республикасының Қызылорда облысында күн электр станцияларын дамыту перспективасы.....163

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

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

Қасым Р. Т., Өмірбекова З. М., Сериков Т. Г., Толегенова А. С., Гленшиева А. А. Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдауды оңтайландыру моделі.....	175
Мануковский А. В., Сағындық Ә. Б., Талипов О. М. «Жасыл энергия» электр станциясының жұмысында мониторинг ұйымдастыру үшін кедергіге төзімді радио арна әзірлеу.....	184
Мартыненко Е. А., Ердыбаева Н. К., Акаев А. С., Бекмулдин М. К., Туркач А. А. ИВГ.1М реакторының ЖБЖ температурасының таралуын компьютерлік модельдеу.....	197
Машрапов Б. Е., Барукин А. С., Динмуханбетова А. Ж., Машрапова Р. М., Әмірбек Д. Ә. Электр беріліс желілерінің релелік қорғанысы үшін геркондармен орындалған өлшеуіш органдар.....	210
Меирбекова О. Д., Рустамов Н. Т., Бергузинов А. Н., Калтаев А. Г. Газ турбиналы қозғалтқыш негізінде жұмыс істейтін таратылған генерация жүйесін құру.....	222
Мерғалимова А. К., Ыбрай С. Б., Атыкшева А. В., Бахтияр Б. Т. Қазандық өртіне арналған таза көмір технологиясы.....	242
Мехтиева А. Д., Герасименко Т. С., Сарсикеев Е. Ж. Магниттік және электромагниттік өрістердің судың кермектігіне әсерін эксперименттік зерттеу.....	254
Мименбаева А. Б., Нұрбекова А. Х., Бекмағанбетова Г. К., Никамбаева Н. Н., Турсынғалиева Г. Н. Statistica жүйесінде дақылдардың өнімділігін болжау модельдерін құру.....	265
Нефтисов А. В., Казамбаев И. М., Кириченко Л. Н., Жакупова К. М., Уразаев Д. Б. IIoT технологиясы арқылы есептеу жүйелерімен өлшеу түрлендіргіштерінің өзара әрекеттесу моделі.....	279
Приходько Е. В., Никифоров А. С., Арипова Н. М., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е. Жоғары температуралы қондырғылардың қалдық ресурсын бағалау.....	292
Рахадиллов Б. К., Кәкімжанов Д. Н., Даутбеков М. К., Колисниченко О. В. Энергетикалық жабдықтың бөлшектеріне дуплексті жабындарды жағу технологиясы.....	306
Сыдыкова Г. К., Айтуғанова А. М., А. Жансерікқызы Озонометриялық құрылғыларды құрудың негізгі принциптері.....	319
Тайсариева К. Н., Джобалаева Г. С., Абдықадыров А. А., Хабай А., Тәуірбек Ж. Ш. Кейінгі ұрпақ желілерінде шағын ұяшықты орналастыруды зерттеу.....	334

Авторлар туралы ақпарат	345
Авторларға арналған ережелер.....	374
Жарияланым этикасы.....	385

СОДЕРЖАНИЕ

Адамова А. Д., Оралбекова Ж.О., Жартыбаева М. Г., Узаккызы Н. Исследование метода помехоустойчивого кодирования информации – турбо-кодов.....	11
Аканова А. С., Оспанова Н. Н., Казанбаева А. С., Анарбекова Г. А., Шарипова С. Е. Методы прогнозирования в машинном обучении: обзор и сравнение	21
Акишев К. М., Тулегулов А. Д., Байжарикова М., Карпов В. И., Аяп Р. Оценка эффективности организации автоматизированной системы управления резервным энергоснабжением майнинговой фермы	33
Алимова Ж. С. О методах выявления скрытых взаимосвязей в данных	49
Бектасова А. А., Ашимова А. К., Шакинов К. Б., Сарсенбаев Е. А. Перспективы развития и анализ ветроэнергетического оборудования	60
Бермагамбетов Ж. Ш., Озаркова А. И., Утегулов А. Б., Кошкин И. В. Внедрение системы генерации для повышения энергоэффективности собственных нужд котельных малой и средней мощности Костанайской области	75
Жалмагамбетова У. Қ., Казамбаев А. М., Жусупбекова Н. Ж., Джусупова Э. М. Автономное энергоснабжение на твердом топливе и биогазе.....	91
Жумагулов М. Г., Баубек А. А., Грибков А. М., Глазырин С. А., Долгов М. В., Краткий обзор сжигания отработанного масла в горелочных устройствах	102
Исабеков Д. Д., Марковский В. П., Темирбулатов К. Р., Аксёнов В.И., А. П. Плевако Альтернативная токовая защита электродвигателей	116
Керибаева Т. Б., Алибеккызы К., Кошеков К. Т., Байдилдина А. Т., Метод моделирования интегрированных групп БПЛА	127
Колесников Е. Н., Жуматаев Н. Ш., Новожилов А. Н., Рахимбердинова Д. М., Новожилов Т. А. Магнитный преобразователь тока с двумя магнитопроводами	142
Колесниченко Н. Ю., Крутоус С. Ф. Исследование явления феррорезонанса	152
Курманбаев Г.Б., Махамбаева И. У., Камалова Г. Н., Бекзүлда Н. Г. Перспектива развития солнечных электрических	

станций в Кызылординской области Республики Казахстан	163
Касым Р. Т., Әмірбекова З. М., Сериков Т. Г., Толегенова А. С., Тленшиева А. А. Модель оптимизации сверхширокополосной многоантенной беспроводной передачи данных между интерфейсами	175
Мануковский А. В., Сағындық А. Б., Талипов О. М. Разработка помехоустойчивого радиоканала для организации мониторинга работы электростанции «зеленой энергетики»	184
Мартыненко Е. А., Ердыбаева Н. К., Акаев А. С., Бекмулдин М. К., Туркач А. А. Компьютерное моделирование распределения температуры ТВС реактора ИВГ.1М.....	197
Машрапов Б. Е., Барукин А. С., Динмуханбетова А. Ж., Машрапова Р. М., Әмірбек Д. Ә. Измерительные органы на герконах для релейной защиты линий электропередач.....	210
Меирбекова О. Д., Рустамов Н. Т., Бергузинов А. Н., Калтаев А. Г. Создание системы распределенной генерации, работающей на базе газотурбинного двигателя.....	222
Мергалимова А. К., Ыбрай С. Б., Атыкшева А. В., Бахтияр Б. Т., Чистая угольная технология для растопки котлов	242
Мехтиев А. Д., Герасименко Т. С., Сарсикеев Е. Ж Экспериментальные исследования влияния магнитных и электромагнитных полей на жесткость воды	254
Мименбаева А. Б., Нурбекова А. Х., Бекмаганбетова Г. К., Никамбаева Н. Н., Турсынғалиева Г. Н. Разработка моделей для прогнозирования урожайности в системе Statistica	265
Нефтисов А. В., Казамбаев И. М., Кириченко Л. Н., Жакупова К. М., Уразаев Д. Б. Модель взаимодействия измеряющих преобразователей с вычислительными системами посредством технологии IIoT	279
Приходько Е. В., Никифоров А. С., Арипова Н. М., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е. Оценка остаточного ресурса футеровок высокотемпературных агрегатов	292
Рахадиллов Б. К., Какимжанов Д. Н., Даутбеков М. К., Колисниченко О. В. Технология нанесения дуплексных покрытий на детали энергетического оборудования	306
Сыдыкова Г. К., Айтуганова А. Жансериковна М., А. Основные принципы построения озонметрических приборов	319

**Тайсариева К. Н., Джобалаева Г. С., Абдыкадыров А. А.,
Хабай Ж. А., Тәуірбек Ш.**
Исследование развёртывание малые соты
в сетях следующего поколения334

Сведения об авторах345

Правила для авторов374

Публикационная этика385

CONTENT

Adamova A. D., Oralbekova Zh.O. , Zhartybayeva M. G., Uzakkyzy N.
Research of the method of noise-resistant coding
of information – turbo codes 11

**Akanova A. S., Ospanova N. N., Kazanbayeva A. S., Anarbekova G. A.,
Sharipova S. E.**
Forecasting methods in machine learning: overview
and comparison21

Akischev K. M., Tulegulov A. D., Baizharikova M., Karpov V. I., Ayap R.
Evaluation of the effectiveness of the organization of an automated
system for managing the reserve energy supply of a mining farm33

Alimova Zh. S.
About methods for identifying hidden relationships in data49

**Bektassova A. A., Ashimova A. K., Shakenov K. B.,
Sarsenbayev Ye. A.**
Development prospects and analysis of wind power equipment.....60

**Bermagambetov J. Sh. Ogarkova A. I., Utegulov A. B.,
Koshkin I. V.**
Introduction of a generation system to increase the energy efficiency
of the own needs of boiler houses of low and medium
power in Kostanay region75

**Zhalmagambetova U. K., Kazambayev A. M., Zhuspekova N. Zh.
Jussupova E. M.**
Autonomous power supply on solid fuel and biogas91

**Zhumagulov M. G., Baubek A. A., Gribkov A. M. , Glazyrin S. A.,
Dolgov M. V.**
Promising technologies for combustion of used oil in burners 102

**Issabekov D. D., Markovskiy V. P. Temirbulatov K. R. Aksenov V. I.,
A. P. Plevaco**
Alternative current protection for electric motors 116

Keribayeva T., Alibekkyzy K., Koshekov K., Baidin A. T.
Modeling method of integrated UAV groups..... 127

**Kolesnikov E. N., Zhumataev N. Sh. , Novozhilov A. N. ,
Rakhimberdinova D. M. , Novozhilov T. A.**
Magnetic current converter with two magnetic conductors..... 142

Kolesnichenko N. Yu., Krutous S. F.
Investigation of the phenomenon of ferroresonance 152

**Kurmanbayev G. B., Makhambayeva U. , Kamalova G. N.,
Bekzulda N. B.**
Prospects for the development of solar power plants
in the Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan 163

Kassym R. T., Omirbekoba Z. M., Serikov T. G. , Tolegenova A. S.,

Tlenshieva A. A.	
Optimization model of ultra-wideband multi-antenna wireless data transfer between interfaces	175
Manukovsky, A. B. Sagyndyk, A. V. Talipov O. M.	
Development of an interference-resistant radio channel to organize monitoring of the operation of the «green energy» power plant.....	184
Martynenko Ye. A., Yerdybayeva N. K., Akayev A. S., Bekmoldin M. K., Turkach A. A.	
Computer simulation of the temperature distribution in the FA of the IVG.1M reactor	197
Mashrapov B. E., Barukin A. S., Dinmukhanbetova A. Zh., Mashrapova R. M., Amirbek D. A.	
Measuring bodies on reed switches for relay protection of power lines	210
Meirbekova O. D., Rustamov N. T., Berguzinov A. N., Kataev A. G.	
Creation of a distributed generation system operating on the basis of a gas turbine engine.....	222
Mergalimova A. K., Ybray S. B., Atyaksheva A. V., Bakhtiyar B. T., Mekhtiev A. D., Gerasimenko T. S., Sarsikeev E. Zh.	
Experimental studies of the influence of magnetic and electromagnetic fields on water hardness	254
Mimenbaeva A. B., Nurbekova A. Kh., Bekmaganbetova G. K., Nikambaeva N. N., Tursyngalieva G. N.	
Development of models for prediction of yield of crops in Statistica system.....	265
Neftissov A. V., M. Kazambayev I., Kirichenko L. N., Zhakupova K. M., Urazayev D. B.	
An interaction model of relay protection measuring transducers with computing systems via IIoT technology	279
Prikhodko E. V., Nikiforov A. S., Aripova N. M., Kinzhibekova A. K., Karmanov A.E.	
Evaluation of the residual life of linings of high-temperature units	292
Rakhadilov B.K., Kakimzhanov D. N., Dautbekov M. K., Kolisnichenko O. V.	
Technology of duplex coating on power equipment parts	306
Sydykova G. K., Aituganova A. M., Zhanserikkyzy A.	
Basic principles of construction of ozonometric devices	319
Taissariyeva K., Jobalayeva G., Abdykadyrov A., Khabay A., Tauirbek Z.	
A study of small cell placement in next generation networks	334
Information about the authors.....	345
Rules for authors	374

<https://doi.org/10.48081/XKHS5012>

А. Д. Адамова¹, *Ж. О. Оралбекова², М. Г. Жартыбаева³, Н. Ұзаққызы⁴

¹Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

e-mail : oralbekova@bk.ru

АҚПАРАТТЫ КЕДЕРГІГЕ ОРНЫҚТЫ КОДТАУ ӘДІСІ – ТУРБО-КОДТАРДЫ ЗЕРТТЕУ

Қазіргі таңда цифрлық байланыс пен электронды техникада жиі қолданылатын кедергіге орнықты кодтардың бірі – турбо-кодтар болып табылады. Бұл кодтардың даму тарихы отыз жылдан астам уақытты құрайды. Турбо-кодтарды қолданудың өзектілігі бұл кодтардың көмегімен Шеннон шегіне жақын қателерді түзетуге мүмкіндікке қол жеткізумен анықталады. Турбо-кодтар 3G мен 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде пайдаланылды. Бұл стандарттар мобильдік интернеттің пайда болуына септігін тигізді. Бұл ғылыми мақалада кедергіге орнықты кодтардың бірі болып саналатын турбо-кодтар қарастырылып, зерттелді. Оралған турбо-кодтардың компьютерлік моделі құрылды. Ол үшін MatLAB қолданбалы программалар пакетімен интеграцияланған Simulink программалау графикалық ортасы қолданылды. Гаусс арнасының математикалық моделі жасалып, Гаусс арнасындағы турбо-кодтаушының компьютерлік моделі құрылды. Гаусс арнасы ретінде Гаусс шуылы қосылған байланыс арнасы алынды. Цифрлы фазалық модуляцияның екілік түрі қолданылып, бірнеше итерацияның көмегімен жүзеге асырылды. Әр түрлі итерациядағы өнімділік графикалық түрде көрсетілді. 3G және 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде турбо-кодтардан басқа LDPC кодтары пайдаланылғанын ескере отырып, бұл жұмыстың жалғасы ретінде келешекте LDPC кодтарды зерттеу жұмыстары жүргізіледі.

Кілтті сөздер: ақпаратты қорғау, кедергіге орнықты кодтау, итерациялық кодтау, турбо-код, байланыс арнасы

Кіріспе

Қазіргі таңда турбо-кодтар – цифрлық байланыс пен электрондық техникада қолданылатын кедергіге орнықты кодтардың бірі. Бұл классқа жататын кодтар арқылы қателерді тиімді түзетуге және турбо-кодтардың деректерді максималды тез жылдамдықпен жіберу мүмкіндігі бар болғандықтан спутниктік байланыста да қолданысқа ие. Турбо-кодтар 3G және 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде пайдаланылды. Бұл стандарттар мобильдік интернеттің пайда болуына септігін тигізді. Сол себептен сымсыз деректерді тасымалдау стандартына сәйкес турбо-кодтар 5G бөлігі болып есептеледі.

Турбо-кодтардың отыз жылдық тарихы бар деуге болады. Бұл кодты алғашқы рет ақпараттар теориясымен айналысатын теоретик-ғалым емес, электроникамен айналысатын инженер ойлап тапты [1]. Сол уақыттан бері турбо-кодтарға қызығушылық артқан себебі, ол Шеннон шегіне жақын қателерді түзету мүмкіндігіне қол жеткізе алады. Турбо-код интерлевер арқылы параллель қосылған екі салыстырмалы түрде қарапайым құралған оралған кодтаушыларды пайдалану арқылы кодтауда маңызды ұтысты қамтамасыз етеді [2, 3]. К. Рамасами, Б. Б аламуралитара мен М. У.Сиддикви 3G жүйелеріне арналған асимметриялық турбокодтаушылардың жаңа классын ұсынып, оңтайлы сұлбасын жасады [4]. К. Вэй, Х. Гуйжюн мен Д. Квинг көп режимді оптикалық талшықты байланыс жүйесінде бит бойынша қателік жиілігін төмендету үшін турбо-кодты қолдануды ұсынды. Олар Simulink ортасында модельдеу жүйесін құрастырды. Жүйеге сүйене отырып, турбо-коды бар жүйені екі типтік кодтау сұлбасымен – оралған код пен тізбектелген каскадтық коды бар жүйелермен салыстырды. Салыстыру нәтижесі турбо-кодталған жүйенің басқа екі жүйеге қарағанда бит бойынша қателік жиілігі төмен екенін көрсетті [5].

Қабылдағыштағы қателерді тікелей түзету кодының параметрлерін бағалау маңызды рөл атқарады. Цифрлы байланыс жүйелері мен деректерді сақтау жүйелерінде төмен деңгейлі қателерге қол жеткізу үшін бірнеше оралған кодтардың параллельді біріктірілуі болып табылатын оралған турбо-кодтар қолданылады. Р. Свамнатан мен А. С. Мадхукмар кодтық параметрлерді соқыр бағалауға және шулы сценарийге сәйкес оралған турбо-кодтаушыны қайта құруға арналған алгоритмдер ұсынды. Оралған турбо-код интерлевермен екі құрамдас кодтар арқылы жасалды. Композиттік кодтар ретінде рекурсивті жүйелі оралған кодтар қолданылды. Параметрлерді бағалау дәлдігі тұрғысынан авторлармен ұсынылған алгоритмдердің өнімділігі модуляция ретінің, код жылдамдығының және шектеу ұзындығының әртүрлі мәндері үшін зерттелді [6].

Бұл мақаланың мақсаты: кедергіге орнықты турбо-кодтарды зерттеу, оның Simulink программалау графикалық ортасында компьютерлік моделін құру.

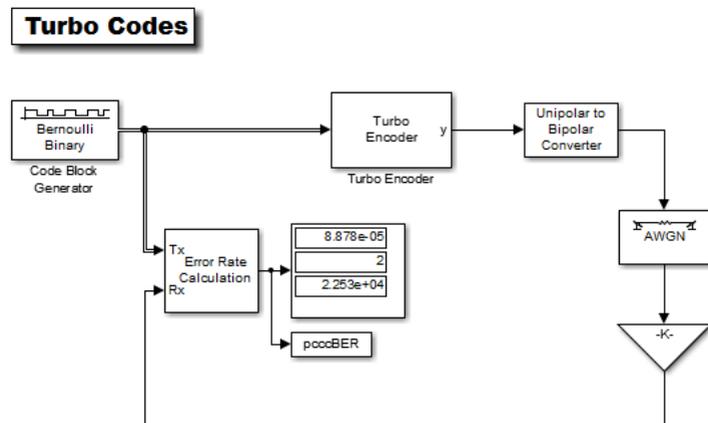
Турбо-кодтардың моделін құру үшін Simulink пакеті таңдап алынды, себебі Simulink – құрылғыларды көрнекі математикалық модельдеу пакеті болып табылады [7]. Бұл ортада құрылғылар мен жүйелерді нақты уақыт режимінде модельдеу мүмкіндігі бар. Программалық құрал ретінде Simulink визуалды бағытталған программалау тілдерінің қатарына жатады, оның маңызды артықшылығы оның тек MatLAB жүйесімен ғана емес, сонымен қатар бірқатар кеңейтілім пакеттерімен интеграциясы имитациялық модельдеу мен оқиғаларды модельдеудің кез келген тәжірибелік есептерін шешу үшін қолдануға болады. Simulink мүмкіндіктері ғылым мен техниканың барлық салаларындағы күрделі динамикалық жүйелерді математикалық модельдеу есептерін қамтиды.

Материалдар мен әдістер

Модельденетін құрылғылардың функционалды блок-сұлбасын құру үшін Simulink-те блок-құраушылардың кең ауқымды кітапханасы мен ыңғайлы блок-сұлба редакторы бар. Simulink - пайдаланушының графикалық интерфейсіне негізделген және визуалды-бағдарланған типтік программалау құралы болып табылады [7]. Оның зерттеуге және өзгертуге ашық, кең ауқымды, компоненттер кітапханасы бар. Ол кез келген уақытқа тәуелді әсер ету көздерін, әр түрлі тасымалдау сипаттамалары бар сызықтық және бейсызықты түрлендіргіштерді, кванттау құрылғысын, интегралдау және дифференциалдау блоктарын қамтиды. Кітапханада виртуалды жазу құрылғыларының тұтас жиынтығы бар: вольтметр немесе амперметр сияқты қарапайым өлшегіштерден бастап әмбебап осциллографтарға дейін токтар мен кернеулер, орын ауыстырулар, қысымдар секілді модельдеу жүйелерінің шығыс параметрлерінің уақытқа тәуелділігін көруге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау

Турбо кодтар – қазіргі заманғы байланыс жүйелеріне арналған кедергіге орнықты кодтау әдістерінің бірі. Турбо кодтарды құрудың екі тәсілі бар: тізбектеп және параллельді қосу арқылы турбо-кодтар түзіледі. Кемінде екі кодтаушыларды тізбектеп қосу арқылы оралған турбо-кодтар түзіледі. 1-суретте Simulink программалау графикалық ортасында құрылған оралған турбо-кодтаушының моделі келтірілген.



Сурет 1 – Оралған турбо-кодтаушы моделі

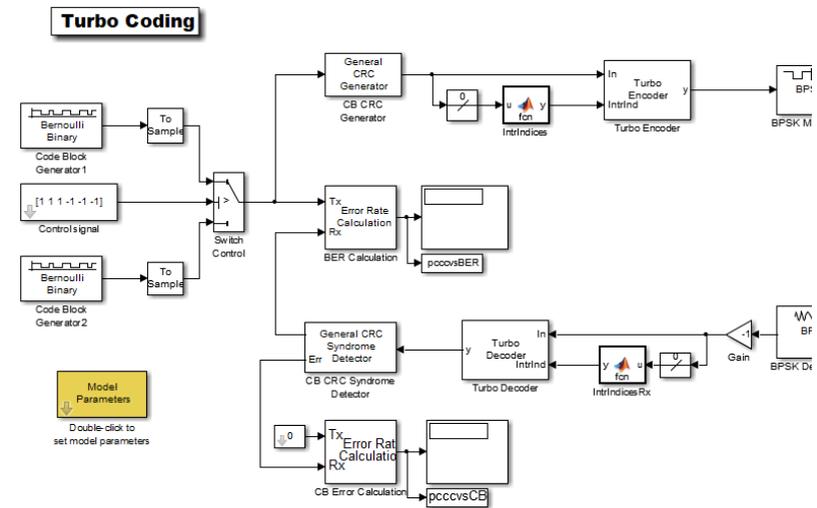
Ең маңызды үздіксіз әліпбиі бар арналардың бірі – Гаусс арнасы болып табылады. Гаусс арнасы дегеніміз ақ гаусс шуылы қосылған (AWGN, Additive white Gaussian noise) байланыс арнасын айтады. Бұл Гаусс арнасын алғаш рет Шеннон [8] қарастырды. [9] жұмыстың авторлары көптеген шекті құрылғыларда турбокодты декодтау өнімділігіне шудың әсерін зерттеді. Зерттеу нәтижесі шудың арнаны кодтауға және декодтауға пайдалы әсерін тигізетінін көрсетті.

Гаусс арнасының математикалық моделін келесідей сипаттауға болады:

$$A(t) = B(t) + C(t) \quad t \geq 0,$$

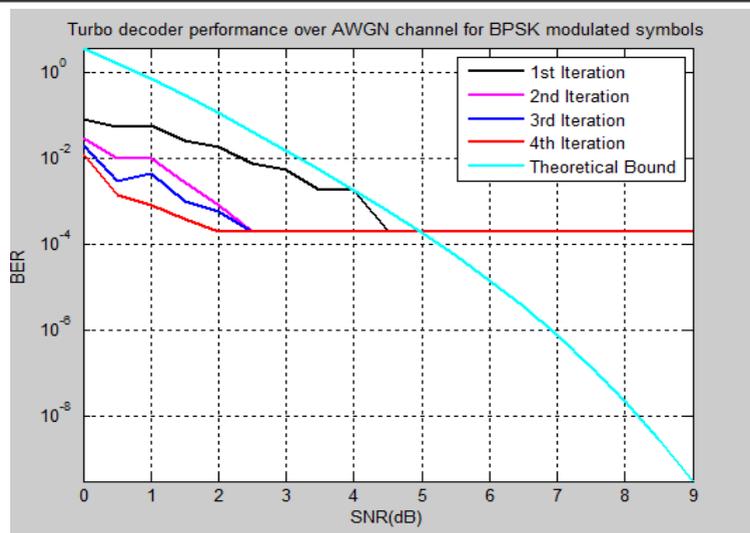
мұндағы $A(t) = B(t)$, – каналдың кірісінде, шығысындағы сигнал, ал $C(t)$ – шуыл.

2-суретте Гаусс арнасындағы турбо-кодтаушының моделі келтірілген.



Сурет 2 – Гаусс арнасындағы турбо-кодтаушы моделі

Цифрлы фазалық модуляция сандық деректерді сымсыз жіберудің әмбебап әдісі болып табылады. Цифрлы фазалық модуляцияның ең кеңінен қолданылатын түрі – екілік фазалық ауысымдық кілттеу (BPSK, binary phase shift keying) төрт итерацияның көмегімен жүзеге асырылды (3-сурет).



Сурет 3 – Әр түрлі итерациядағы өнімділік

Турбокодтардың өнімділігі қайталанатын декодтау алгоритмдеріне байланысты энергетикалық ұтысты қамтамасыз етеді. Гаусс арнасында турбокодтарды пайдалану барысында турбо-кодтаудың энергетикалық ұтысы 2-4 дБ [10] құрайды.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Жұмыс ҚР БҒМ грантымен қаржыландырылған АР09058557 жобасы шеңберінде орындалды.

Қорытынды

Динамикалық жүйелер мен электронды құрылғыларды модельдеуге арналған бірқатар программалық құралдар бар. Айталық, Tutsim және LabVIEW программаларын алатын болсақ, бұл құралдарды тиімді пайдалану үшін жоғары жылдамдықты шешуші құрылғылар қажет. Қолда бар дербес компьютердің мүмкіндіктерін ескере отырып, Simulink программалау графикалық ортасы таңдап алынды, ол MatLAB жүйесімен интеграцияланды. Simulink графикалық құралы модельдеу нәтижелерінің көрнекі көрінісі бар турбо-кодтаушыны құруға мүмкіндік берді.

3G және 4G стандарттары үшін арна кодтары ретінде турбо-кодтардан басқа LDPC кодтары пайдаланылғанын ескере отырып, келешекте бұл жұмыстың жалғасы ретінде LDPC кодтарды зерттеу жұмыстары жүргізіледі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Weithoffer, S., Nour, C.A., Wehn, N., Douillard, C., Berrou, C. 25 Years of Turbo Codes: From Mb/s to beyond 100 Gb/s // 2018 IEEE 10th International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing (ISTC), Hong Kong, China. – 2018. – P. 1-6. – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1109/ISTC.2018.8625377>.

2 Rao, G. R., Rao, G. S. Performance analysis of 64QAM Turbo coded OFDM for 4G applications // Procedia Computer Science. – 2018. – Vol.143. – P. 907-913. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.363>.

3 Abdulhamid, M., Thairu, M. Performance Analysis of Turbo Codes Over AWGN Channel // The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. – 2019. – Vol.19. – P. 43-48.

4 Ramasamy, K., Balamuralithara, B., Siddiqi, M. U. Optimal power allocation for the proposed asymmetric turbo code for 3G systems // AEU – International Journal of Electronics and Communications. – 2009. – Vol. 63 (7). – P. 551-561. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2008.04.003>.

5 Wei, X., Guijun, H., Qing, D. Application of Turbo codes in optical OFDM multimode fiber communication system // Optics Communications. – 2008. – Vol. 281 (5). – P. 1118–1122. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2007.10.084>.

6 Swaminathan, R., Madhukumar, A. S. Blind parameter estimation of turbo convolutional codes: Noisy and non-synchronized scenario // Digital Signal Processing. – 2019. – Vol. 95. – P. 102577. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2019.102577>.

7 Дьяконов, В. П. Simulink 5/6/7 [Мәтін] : Самоучитель. – М. : ДМК-Пресс, 2008. – 784 с. – ISBN 978-5-94074-423-8.

8 Shannon, C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Tech. J. – 1948. – Vol. 27(3). – P. 379–423.

9 Zhai, Q., Wang, Y. Stochastic resonance in parallel concatenated turbo code decoding // Digital Signal Processing. – 2016. – Vol. 56. – P. 93-99. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.05.013>.

10 Архипкин, А. Турбокоды – мощные алгоритмы для современных систем связи [Мәтін] // Беспроводные технологии. – 2006. – №1. – С. 36-37.

REFERENCES

1 Weithoffer, S., Nour, C. A., Wehn, N., Douillard, C., Berrou, C. 25 Years of Turbo Codes: From Mb/s to beyond 100 Gb/s // 2018 IEEE 10th International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing (ISTC), Hong

Kong, China. – 2018. – P. 1–6. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1109/ISTC.2018.8625377>.

2 **Rao, G. R., Rao, G. S.** Performance analysis of 64QAM Turbo coded OFDM for 4G applications // Procedia Computer Science. – 2018. – Vol.143. – P. 907-913. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.363>.

3 **Abdulhamid, M., Thairu, M.** Performance Analysis of Turbo Codes Over AWGN Channel // The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. – 2019. – Vol.19. – P. 43-48.

4 **Ramasamy, K., Balamuralithara, B., Siddiqi, M. U.** Optimal power allocation for the proposed asymmetric turbo code for 3G systems // AEU - International Journal of Electronics and Communications. – 2009. – Vol. 63 (7). – P. 551-561. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.aecue.2008.04.003>.

5 **Wei, X., Guijun, H., Qing, D.** Application of Turbo codes in optical OFDM multimode fiber communication system // Optics Communications. – 2008. – Vol. 281 (5). – P. 1118-1122. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2007.10.084>.

6 **Swaminathan, R., Madhukumar, A. S.** Blind parameter estimation of turbo convolutional codes: Noisy and non-synchronized scenario // Digital Signal Processing. – 2019. – Vol. 95. – P. 102577. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2019.102577>.

7 **D'yakonov, V. P.** Simulink 5/6/7: Samouchitel' [Simulink 5/6/7: Tutorial] [Text]. – Moscow : DMK-Press, 2008. – 784 p. – ISBN 978-5-94074-423-8.

8 **Shannon, C. E.** A Mathematical Theory of Communication // Bell System Tech. J. – 1948. – Vol. 27(3). – P. 379-423.

9 **Zhai, Q., Wang, Y.** Stochastic resonance in parallel concatenated turbo code decoding // Digital Signal Processing. – 2016. – Vol. 56. – P. 93-99. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.05.013>.

10 **Arkhipkin, A.** Turbokody – moshchnye algoritmy dlya sovremennykh sistem svyazi [Turbo codes – powerful algorithms for modern communication systems] [Text] // Besprovodnye tekhnologii [Wireless technologies]. – 2006. – № 1. – P. 36–37.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

*А. Д. Адамова¹, *Ж. О. Оралбекова², М. Г. Жартыбаева², Н. Узаккызы²*

¹Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

²Евразийский национальный университет

имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

Принято к изданию 18.09.23.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ - ТУРБО-КОДОВ

На сегодняшний день турбокоды являются одним из часто используемым в теории помехоустойчивого кодирования и нашли применение в цифровой связи и в электронной технике. История развития этих кодов насчитывает более тридцати лет. Актуальность использования турбо-кодов определяется возможностью исправления ошибок, близких к пределу Шеннона. Турбо-коды использовались в качестве кодов канала связи для 3G и 4G стандартов. Эти стандарты способствовали появлению мобильного интернета. В данной научной статье рассматриваются и исследуются устойчивые к помехам турбокоды. Создана компьютерная модель сверточных турбо-кодов. Для этого использовалась графическая среда программирования Simulink, интегрированная с пакетом прикладных программ MatLAB. Разработана математическая модель Гауссовского канала и создана компьютерная модель турбо-кодера на Гауссовском канале. Использовался двоичный тип цифровой фазовой модуляции, реализованный за несколько итераций. Результаты по производительности на разных итерациях продемонстрированы в виде графиков. Учитывая, что наряду с турбо-кодами для 3G и 4G стандартов в качестве кодов каналов связи использовались LDPC коды, в будущем как продолжение данной работы будут исследованы LDPC коды.

Ключевые слова: защита информации, помехоустойчивое кодирование, итерационное кодирование, турбокод, канал связи

*A. D. Adamova¹, *Zh. O. Oralbekova², M. G. Zhartybayeva², N. Uzakkyzy²*

¹Astana IT University, the Republic of Kazakhstan, Astana

²L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

Accepted for publication on 18.09.23

RESEARCH OF THE METHOD OF NOISE-RESISTANT CODING OF INFORMATION – TURBO CODES

To date, turbo codes are one of the most frequently used in the theory of error-correcting coding and have found application in digital communications and electronics. The history of the development of these

codes has more than thirty years. The relevance of using turbo codes is determined by the possibility of correcting errors close to the Shannon limit. Turbo codes have been used as link codes for 3G and 4G standards. These standards contributed to the emergence of the mobile Internet. This scientific article discusses and investigates noise-resistant turbo codes. A computer model of convolutional turbo codes has been created. For this, the Simulink graphical programming environment integrated with the MatLAB application software package was used. A mathematical model of the Gaussian channel has been developed and a computer model of the turbo encoder on the Gaussian channel has been created. The binary type of digital phase modulation was used, which was implemented in several iterations. Performance results at different iterations are shown in the form of graphs. Considering that along with turbo codes for 3G and 4G standards, LDPC codes were used as communication channel codes, in the future, LDPC codes will be investigated as a continuation of this work.

Keywords: information security, error-correcting coding, iterative coding, turbo code, communications channel

МРНТИ 28.23.25

<https://doi.org/10.48081/PXQO4695>

***А. С. Аканова¹, Н. Н. Оспанова², А. С. Казанбаева³,
Г. А. Анарбекова⁴, С. Е. Шарипова⁵**

^{1,4,5}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Астана,

²Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

³Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,
Республика Казахстан, г. Петропавловск

e-mail: akerkegansaj@mail.ru

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ: ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ

В данной статье представлен обзор и сравнение различных методов прогнозирования в машинном обучении. Описаны методы линейной и логистической регрессии, деревьев решений, случайного леса, градиентного бустинга и метода опорных векторов. Также исследованы и проанализирована архитектура нейронных сетей, методы кластеризации, которые используются для выявления групп в данных на основе сходства. С целью выбора наилучшего метода для дальнейшего исследования, были рассмотрены преимущества и недостатки каждого метода прогнозирования. Проведен анализ статей опубликованных в журналах входящих в базу Scopus, чтобы получить обзор опубликованных методов прогнозирования урожайности. Это исследование показало, что в выборке из 101 статьи подходы, основанные на процессах и на основе данных, были представлены в равной степени. Из анализа литературы стало ясно, что основным препятствием для широкого внедрения комплексных подходов, основанных на данных, является отсутствие подходящих наборов данных, в то время как модели роста сельскохозяйственных культур сталкиваются с проблемой неспособности моделировать коэффициенты снижения, требуя часто многочисленные входные факторы. В целом, правильный выбор метода прогнозирования является ключевым фактором для достижения успешных результатов в машинном обучении.

Ключевые слова: методы прогнозирования, машинное обучение, нейронные сети, сельское хозяйство, урожайность.

Введение

Прогнозирование играет критическую роль во многих аспектах современной жизни, так как позволяет принимать информированные решения и строить стратегии развития на основе анализа данных и предсказания будущих тенденций. Машинное обучение, как один из основных инструментов для прогнозирования, предлагает ряд методов и алгоритмов для решения сложных задач в разных отраслях.

Машинное обучение играет важную роль в прогнозировании, так как предоставляет набор методов и алгоритмов, способных обрабатывать и анализировать большие объемы данных для выявления закономерностей и создания прогнозных моделей. В контексте прогнозирования машинное обучение помогает улучшить точность и скорость предсказаний, а также обеспечивает автоматизацию и оптимизацию процесса прогнозирования.

Методы машинного обучения набирают популярность в области прогнозирования. Однако понимание того, почему и как эти методы хорошо работают для прогнозирования, все еще находится на очень ранней стадии, отчасти из-за их сложности. Метод прогнозирования в машинном обучении на основе регрессии, которая предоставляет исследователям общий язык и абстракцию, помогает в их исследованиях. Чтобы продемонстрировать полезность фреймворка, [1] представлено, как его можно использовать для сопоставления и сравнения методов машинного обучения.

Деревья решений описывают тип метода машинного обучения, который широко используется в науках о Земле для автоматического извлечения шаблонов из сложных и [многомерных данных](#). Однако, как и любой метод, основанный на данных, применению препятствуют ограничения данных, такие как значительные погрешности, приводящие к потенциально физически нереалистичным результатам. [2] создали набор инструментов Python с открытым исходным кодом. Пользователи могут в интерактивном режиме создавать новые составные переменные, изменять переменную и пороговое значение для разделения, сокращения и группировки переменных на основе их физического значения.

Наличие загрязненных земель является неизбежным наследием промышленной деятельности, и управленческие решения, регулирующие рекультивацию этих земель, играют ключевую роль в минимизации экологических рисков и обеспечении безопасного и эффективного повторного использования земель. В этом контексте, прогнозировались оптимальные варианты реабилитации для будущих процессов принятия решений в области

устойчивого управления объектами, тем самым улучшив информационный обмен между заинтересованными сторонами. В исследовании [3] анализировалось 17 параметров чувствительности решений, и их влияние на модели управления загрязненными объектами определяется тремя алгоритмы дерева решений.

Машинное обучение на множествах с целью последовательного вывода является важной и повсеместной задачей. Приложения которой варьируются от языкового моделирования и мета-обучения до многоагентных стратегических игр и оптимизации электросетей. Сочетая элементы обучения представлению и структурированному прогнозированию, его две основные задачи включают в себя получение значимого представления множества, инвариантного к перестановкам, и последующее использование этого представления для вывода сложной целевой перестановки [4].

Методы машинного обучения применяются для объединения результатов в рамках федеративного патентного поиска. Несмотря на то, что было разработано несколько методов объединения результатов, ни один из них не был протестирован на патентных данных и не рассматривал несколько моделей машинного обучения. Таким образом, авторы экспериментируют с самыми современными методами используя патентные данные. Модель случайного леса обеспечивает наилучшие результаты по сравнению со всеми другими моделями и дает новое представление о проблеме объединения результатов. Доказано [5], что модели машинного обучения могут заменить другие стандартные методы и модели, которые использовались для объединения результатов в течение многих лет.

Методы ансамбля (алгоритмы обучения), которые создают набор классификаторов, а затем классифицируют новые точки данных путем взвешенного голосования по их прогнозам. Оригинальный метод ансамбля - байесовское усреднение, но более поздние алгоритмы включают кодирование выходных данных с исправлением ошибок. Рассмотрено [6], почему ансамбли часто могут работать лучше, чем другие методы прогнозирования.

Спектральные методы имеют фундаментальное значение в статистике и машинном обучении, поскольку они лежат в основе алгоритмов от классического анализа главных компонент до более современных подходов, использующих многообразную структуру. В большинстве случаев основная техническая проблема может быть сведена к вычислению низкорангового приближения к положительно определенному ядру. Однако для растущего числа приложений, имеющих дело с очень большими или многомерными наборами данных, оптимальное приближение, обеспечиваемое точным спектральным разложением, является слишком дорогостоящим, поскольку его сложность масштабируется как куб любого

количество обучающих примеров или их размерность. Представлен [7] 2 новых алгоритма для аппроксимации положительно-полуопределенных ядер вместе с оценками ошибок, которые улучшают результаты, приведенные в литературе.

Представлен всесторонний обзор исследований зарубежных ученых, посвященных применению машинного обучения в системах сельскохозяйственного производства. Фильтрация и классификация представленных статей демонстрируют, как сельское хозяйство выиграет от технологий машинного обучения. Применяя машинное обучение к данным датчиков, системы управления фермами превращаются в программы с поддержкой искусственного интеллекта в реальном времени, которые предоставляют подробные рекомендации и аналитическую информацию для поддержки принятия решений и действий фермерами [8].

Возросшая доступность данных от регионального до полевого масштаба проложила путь для новых подходов, основанных на данных.

Целью этой статьи является сравнение методов прогнозирования урожайности в статьях опубликованных журналах входящих в базу Scopus.

Материалы и методы исследования

В исследовании были использованы следующие методы: анализ, научное обобщение сравнение. С помощью научного обобщения будут рассмотрены и обобщены результаты существующих опытов в области исследования урожайности.

Методы машинного обучения относятся к широкой категории, охватывающей подходы различной сложности. Несколько исследований были посвящены сравнению различных алгоритмов машинного обучения для прогнозирования урожайности. Например, в зарубежном исследовании [9] сравнили различные методы машинного обучения для прогнозирования урожайности орошаемых полей в орошаемом бассейне в Мексике. Другие ученые [10] протестировали несколько подходов к машинному обучению (искусственная нейронная сеть, регрессия опорных векторов, k-ближайшие соседи и случайный лес), используя региональные данные. Точно так же ученые из Кореи [11] сравнили различные методы (нейронные сети с различной архитектурой, машины опорных векторов, случайные леса) для прогнозирования урожайности кукурузы и сои на Среднем Западе США. В целом наблюдается, что подходы, характеризующиеся многими параметрами, требуют большого объема обучающих данных, например, во многих исследованиях нейронные сети использовались для прогнозирования урожайности с использованием большого набора данных [12], тогда как при наличии меньшего количества данных (и, как правило, с более высоким разрешением) более простые модели могут быть предпочтительнее.

Например, как [13] использовали деревья регрессии для прогнозирования урожайности на уровне полей, используя данные 48 полей сои в Китае и 48 полей пшеницы фермеров Бангладеш соответственно.

Машинное обучение является быстроразвивающейся областью, и методы прогнозирования не являются исключением. В Таблице 1 представлены методы прогнозирования, где слева преимущество метода, а справа соответственно приведены недостатки.

Таблица 1 – Методы прогнозирования (преимущества и недостатки)

Линейная и логистическая регрессия	
простая математическая формулировка и легко интерпретируема, что позволяет пользователям легко понимать влияние признаков на результат. обучение и предсказание требуют относительно мало вычислительных ресурсов, что делает их подходящими для работы с большими наборами данных	линейная зависимость между признаками и целевой переменной, что может быть неприемлемым для сложных, нелинейных данных чувствительны к выбросам и мультиколлинеарности (когда два или более признаков сильно коррелируют друг с другом) в данных, что может снизить качество модели логистическая регрессия ограничена бинарными классификационными задачами логистическая регрессия может столкнуться с проблемой локальных минимумов при оптимизации функции потерь
Деревья решений	
легко визуализировать и объяснить, что делает их полезными для обучения и презентаций могут работать с обоими типами данных без предварительной обработки не чувствительны к масштабу признаков. могут идентифицировать важные признаки во время обучения.	требует больше времени и ресурсов для обучения и предсказания, чем отдельные деревья решений. чувствительны к изменениям в данных, что может привести к значительным изменениям в структуре дерева. строятся жадным алгоритмом, который оптимизирует каждое разбиение локально, что может привести к подоптимальному глобальному решению.
Случайный лес	
ансамблевый подход случайного леса уменьшает риск переобучения. может достичь более высокой точности, чем отдельные деревья решений, благодаря усреднению предсказаний. может эффективно обрабатывать большие наборы данных и большое количество признаков.	требует больше времени и ресурсов для обучения и предсказания, чем отдельные деревья решений. хотя отдельные деревья решений легко интерпретировать, интерпретация ансамбля деревьев может быть сложнее.
Градиентный бустинг	

может достигать высокой точности прогноза за счет последовательного улучшения ошибки предыдущих моделей на каждом шаге. может обрабатывать категориальные и числовые признаки, а также текстовые данные, используя специальные методы кодирования. поддерживает регуляризацию, что помогает снизить переобучение и улучшить обобщающую способность модели.	требует больше времени и ресурсов для обучения и предсказания, чем отдельные деревья решений или случайный лес. может быть более подвержен переобучению, если гиперпараметры не настроены правильно. может быть чувствительным к выбросам в данных, что может привести к низкому качеству прогноза.
Метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM)	
Высокая точность и эффективность для решения задач классификации, регрессии и детектирования выбросов; Поддержка использования различных ядерных функций для обработки разных типов данных; Минимальная чувствительность к локальным экстремумам в функции ошибки.	Высокая сложность настройки гиперпараметров, таких как ширина ядра; Требуется масштабирование признаков для достижения оптимальной производительности; Неэффективность для работы с большими наборами данных, так как требует значительных вычислительных ресурсов.
Нейронные сети	
Высокая точность в решении сложных задач; Умение извлекать сложные закономерности из данных; Способность обрабатывать большие объемы данных; Адаптивность к новым данным и ситуациям.	Требовательность к вычислительным ресурсам и времени; Сложность настройки гиперпараметров и архитектуры нейронной сети; Часто требуется большой объем данных для эффективного обучения.
Методы кластеризации (K-средних (K-means), Иерархическая кластеризация (Hierarchical clustering), DBSCAN)	
Возможность выявлять скрытые структуры в данных; Не требуют заранее известного числа кластеров; Могут использоваться для обработки больших объемов данных.	Результаты могут зависеть от начальной инициализации и параметров алгоритма; Необходимость выбора подходящего метода и его настройки для конкретной задачи; Трудность интерпретации результатов.

Чтобы получить обзор опубликованных методов прогнозирования урожайности, проведен обзор литературы, прочитали и извлекли информацию о методологии, использованной в 109 отобранных статьях. Цель систематического обзора состояла в том, чтобы понять масштаб и исходные данные, используемые для прогнозирования урожайности, основанных на данных и процессах. Систематический обзор был также направлен на выявление тематических исследований, в которых эти два подхода были объединены.

Проведен поиск в базе данных рефератов и цитирования Scopus, используя следующий запрос:

DOCTYPE (ar or re) AND TITLE-ABS-KEY (crop yield) AND TITLE-ABS-KEY (predict OR forecast* OR monitor* OR calculat*) AND TITLE-ABS-

KEY («decision support system» OR regional OR farm* OR tactical OR strategic OR scenario* OR policy* OR DSS OR (compar* AND method) OR review OR AI OR «machine learning» OR «deep learning» OR «random forest» OR «neural network» OR «support vector machines» OR «artificial intelligence» OR «big data» OR «statistic* model*») AND PUBYEAR > 2010.

Разбили запрос на следующие блоки, связанные оператором AND:

Опубликовано в период с 2009 по 2023 год (запрос был выполнен 12 мая 2023 года)

Включено «прогностическое» слово (прогнозировать ИЛИ прогнозировать* ИЛИ отслеживать* ИЛИ вычислять*)

Включено слово из списка слов цели (например, система поддержки принятия решений) или слово из списка слов метода (например, машинное обучение, модель роста урожая).

Из списка статей, отобранных по названию, исследованы 109 из них: восемь статей из 109 были обзорными, поэтому они были не включены в систематический обзор.

Для каждой из 101 включенной статьи зафиксировали следующую информацию:

1 Пространственный масштаб. Эта категория представляет пространственный масштаб данных. Информация устанавливается как двухуровневая переменная: масштаб поля или фермы или выше (обычно округ, провинция или штат).

2 Категория модели: эта информация представляла собой список методов, использованных в исследовании для прогнозирования урожайности, сократили неоднородность возможных методологий до двух категорий: управляемые данными (линейная и нелинейная регрессии) и основанные на процессах (модели роста урожая). В 12 случаях использовались оба подхода, все данные представлены на рисунке 1.

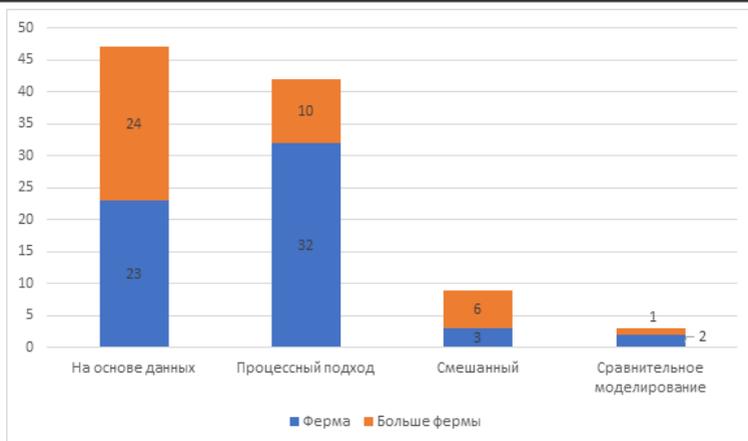


Рисунок 1 – Таблица непредвиденных обстоятельств статей по масштабу и подходу.

3 Входные данные: погода, почва, управление (включая орошение, удобрение, дату посадки), сорт и отражательная способность растительного покрова, биологические переменные культуры (например, дата [цветения](#) или содержание азота в листьях) и другие (для входных данных, которые использовались менее чем в двух исследованиях). Входные данные считались самыми необработанными, а дальнейшие переменные, полученные из исходных входных данных, не учитывались.

Результаты и обсуждение

Анализ пространственного масштаба прогнозов показал, что модели, основанные на процессах, чаще использовались в масштабе поля или ниже (32 против 10 случаев, рисунок 1). Напротив, модели, управляемые данными, использовались одинаково в разных пространственных масштабах (23 против 24). Преобладающее использование моделей, основанных на процессах, в масштабе поля или ниже, вероятно, отражает потребность в управленческой информации (например, о внесении удобрений, дате посева) для их запуска. Очевидно, что модели, основанные на процессах, можно запускать в региональном масштабе с учетом только погодных условий, однако в этих случаях пользователю необходимо делать предположения об [управлении культурами](#).

В целом обзор литературы выявил, по крайней мере, три основных направления развития исследований моделей роста сельскохозяйственных культур: ассимиляция данных в моделях роста сельскохозяйственных культур для улучшения внутрисезонного прогнозирования, интеграция моделей роста

сельскохозяйственных культур и генетики, включение факторов снижения урожайности.

Правильный выбор метода прогнозирования является ключевым фактором для достижения успешных результатов в машинном обучении. Это помогает обеспечить высокую точность и эффективность прогнозирования, а также улучшить принятие решений и повысить эффективность бизнес-процессов.

Информация о финансировании (при наличии)

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №. AP19675312).

Выводы

Это исследование показало, что в выборке из 101 статьи подходы, основанные на процессах и на основе данных, были представлены в равной степени. Из анализа литературы стало ясно, что основным препятствием для широкого внедрения комплексных подходов, основанных на данных, является отсутствие подходящих наборов данных, в то время как модели роста сельскохозяйственных культур сталкиваются с проблемой неспособности моделировать коэффициенты снижения, требуя часто многочисленные входные факторы. Мы нашли частичное подтверждение того, что в нескольких исследованиях использовалось сочетание этих двух подходов для прогнозирования урожайности, и мы определили три основных способа смешивания двух подходов: использование моделей роста урожая для разработки характеристик или индексов, использование моделей, управляемых данными, для оценки недостающего урожая, ввод моделей роста, создание метамоделей для снижения вычислительной нагрузки.

Исходя из анализа и сравнения получаем, что исследование с применением нейросети остается открытым вопросом и требует дополнительного тщательного исследования.

Наконец, важно помнить, что использование методов прогнозирования в машинном обучении является всего лишь инструментом для решения задач, и правильный выбор метода и правильная обработка данных не гарантируют успеха. Важно учитывать контекст задачи и принимать во внимание все необходимые факторы при принятии решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Casper, S. B. Understanding machine learning-based forecasting methods: A decomposition framework and research opportunities [Text] / S.B. Casper // International Journal of Forecasting. – Volume 38. – Issue 4. – 2022, – P. 1555–1561.

2 **Georgios, S.** Integrating scientific knowledge into machine learning using interactive decision trees [Text] / S. Georgios, W. Thorsten, P. Francesca // Computers & Geosciences. – Volume 170. – 2023. – P. 105248.

3 **Xiaonuo, L.** Sustainable decision-making for contaminated site risk management: A decision tree model using machine learning algorithms [Text] / L. Xiaonuo, Y. Shiyi, B.C. Andrew, Ch. Weiping // Journal of Cleaner Production. – Volume 371, 2022. – P. 133612.

4 **Jurewicz, M.** Set-to-sequence methods in machine learning: A review [Text] / M. Jurewicz, L. Derczynski // Journal of Artificial Intelligence Research, 2021. – Volume 71. – P. 885–924.

5 **Stamatis, V.** Machine learning methods for results merging in patent retrieval [Text] / V. Stamatis, M. Salampassis, K. Diamantaras // Data Technologies and Applications. – 2023. – P. 2514.

6 **Dietterich, T.** PAC Guarantees and Effective Algorithms for Detecting Novel Categories [Text] / T.G Dietterich, S. Liu // [Journal of Machine Learning Research](#). – 2022. – P. 23.

7 **Belabbas, M.** Spectral methods in machine learning and new strategies for very large datasets [Text] / M. Belabbas, P.J. Wolfe // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 106(2). – 2009. – P. 369–374.

8 **Liakos, K.** Machine learning in agriculture: A review [Text] / K.G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, D. Bochtis // Sensors (Switzerland). – 18(8). – 2018. – P. 2674.

9 **Gonzalez-Sanchez, A.** Attribute Selection Impact on Linear and Nonlinear Regression Models for Crop Yield Prediction [Text] / A. Gonzalez-Sanchez, J. Frausto-Solis, W. Ojeda-Bustamante // The Scientific World Journal. – Vol. 2014. – 2014. – P. 10.

10 **Maya Gopal P.** Performance Evaluation of Best Feature Subsets for Crop Yield Prediction Using Machine Learning Algorithms [Text] / P.S. Maya Gopal, R. Bhargavi // Applied Artificial Intelligence. – 33:7. – 2019. – P. 621–642.

11 **Kim N. A** comparison between major artificial intelligence models for crop yield prediction: Case study of the midwestern United States, 2006–2015 [Text] / N. Kim, N.W. Park // ISPRS International Journal of Geo-Information 8.5. – 2019. – P. 240.

12 **Crane-Droesch, A.** Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture [Text] / A. Crane-Droesch // Environmental Research Letters. – 2018. – Volume 13. – №. 11. – P. 114003.

13 **Haifeng, Zh.** Classification and regression tree (CART) for analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China: The importance of phosphorus application rates under drought conditions [Text] / Zh. Haifeng,

14 **Ch. Liding, H. Xiaozeng, Zh. Xinfeng, M. Yan** // Agriculture, Ecosystems & Environment. – Volume 132. – Issues 1–2, 2009. – P. 98-105.

Принято к изданию 18.09.23.

*А. С. Аканова¹, Н. Н. Оспанова², А. С. Казанбаева³,
Г. А. Анарбекова⁴, С. Е. Шарипова⁵

^{1,4,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ;

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

³М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
Қазақстан Республикасы, Петропавл қ.

e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДАҒЫ БОЛЖАУ ӘДІСТЕРІ: ШОЛУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРУ

Бұл мақалада машиналық оқытудағы әртүрлі болжау әдістеріне шолу және салыстыру берілген. Сызықтық және логистикалық регрессия әдістері, шешім ағаштары, кездейсоқ орман, градиентті күшейту және тірек векторлық әдіс сипатталған. Сондай-ақ, нейрондық желілердің архитектурасы, ұқсастыққа негізделген деректердегі топтарды анықтау үшін қолданылатын кластерлеу әдістері зерттеліп, талданды. Әрі қарай зерттеу үшін ең жақсы әдісті таңдау мақсатында әр болжау әдісінің артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылды. Жарияланған өнімділікті болжау әдістеріне шолу жасау үшін Scopus базасына кіретін журналдарда жарияланған мақалаларға талдау жасалды. Бұл зерттеу 101 мақаланың үлгісінде процестерге негізделген және деректерге негізделген тәсілдер бірдей ұсынылғанын көрсетті. Әдебиеттерді талдаудан деректерге негізделген кешенді тәсілдерді кеңінен енгізудің негізгі кедергісі қолайлы деректер жиынтығының болмауы екені белгілі болды, ал дақылдардың осу үлгілері төмендеу коэффициенттерін модельдей алмау мәселесіне тап болып, жиі талап етеді. көптеген кіріс факторлары. Тұтастай алғанда, болжау әдісін дұрыс таңдау машиналық оқытуда сәтті нәтижелерге қол жеткізудің негізгі факторы болып табылады.

Кілтті сөздер: болжау әдістері, машиналық оқыту, нейрондық желілер, ауыл шаруашылығы, өнімділік.

*A. S. Akanova¹, N. N. Ospanova², A. S. Kazanbayeva³,
G. A. Anarbekova⁴, S. E. Sharipova⁵

^{1,4,5}S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,
Republic of Kazakhstan, Astana

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³North Kazakhstan University named after M. Kozybayev,
Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk

e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Accepted for publication on 18.09.23

FORECASTING METHODS IN MACHINE LEARNING: OVERVIEW AND COMPARISON

This article provides an overview and comparison of various forecasting methods in machine learning. The methods of linear and logistic regression, decision trees, random forest, gradient boosting and the support vector method are described. The architecture of neural networks, clustering methods that are used to identify groups in data based on similarity are also investigated and analyzed. In order to choose the best method for further research, the advantages and disadvantages of each forecasting method were considered. The analysis of articles published in journals included in the Scopus database was carried out in order to get an overview of published methods for forecasting yields. This study showed that in a sample of 101 articles, process-based and data-based approaches were equally represented. From the analysis of the literature, it became clear that the main obstacle to the widespread implementation of integrated data-based approaches is the lack of suitable data sets, while crop growth models face the problem of inability to model reduction coefficients, often requiring multiple input factors. In general, the correct choice of the forecasting method is a key factor for achieving successful results in machine learning.

Keywords: forecasting methods, machine learning, neural networks, agriculture, productivity.

SRSTI 50.43.31:44.01.85:50.41.19

<https://doi.org/10.48081/QNJR5370>

*K. M. Akishev¹, A. D. Tulegulov², M. Baizharikova³,
V. I. Karpov⁴, R. Ayap⁵

^{1,2,5}Kazhach University of Technology and Business,
Republic of Kazakhstan, Astana,

³M. H. Dulati Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, Taraz,

⁴Moscow State University of Technology and Management named after
K. G. Razumovsky, Russian Federation, Moscow

e-mail: akmail04cx@mail.ru

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE ORGANIZATION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MANAGING THE RESERVE ENERGY SUPPLY OF A MINING FARM

The popularity of digital money due to the high capabilities of digital technologies, data transmission, makes it possible to carry out fast transactions and store capital in the form of electronic, virtual funds. Mining technology allows you to mine cryptocurrencies (bitcoin, Namecoin, etc.) in real time using a large number of video cards for parallel calculations of soda (hashes), while a large amount of electricity is consumed. The boom of mining technology occurred in 2009-2015, which caused a sharp increase in electricity consumption and insufficient capacity for the development of other sectors of the economy In Kazakhstan due to the low cost of electricity, there was an increase in the number of mining farms, and therefore there were several blackouts. As a rule, a mining farm does not belong to consumers of the 1st category, for whom switching to other feeders takes place, the elimination of accidents has recently taken quite a long time and the equipment stops, causes overheating and failure of video cards, moreover, the calculation process itself is interrupted, the warranty functioning of the equipment is not provided. The presented article discusses the methodology of organizing the backup power supply of a mining farm, the selection and justification of the necessary equipment and automation.

Keywords: mining, automated control systems, backup power supply, efficiency

Introduction

In 2022, the Majilis of the Parliament adopted amendments to the draft law «On Digital Assets in the Republic of Kazakhstan» [1]. This document has brought big problems to the mining farmers of Kazakhstan. So what is the problem? The biggest problem is the licensing of activities, the next is the payment of corporate, as well as the ban. to connect to the common energy system of Kazakhstan.

At the same time, there is still no clear understanding of the functioning of mining farms in the country within the legal framework.

The blackout that occurred in 2022, against the background of increased energy consumption by manners, greatly undermined their credibility members of the government. Fig. 1 shows data on mining farms in Kazakhstan for 2022 [2].



Figure 1—Data on mining companies in Kazakhstan

According to the department [3], in October 2021, only 27 companies engaged in digital mining were registered in the country. By mid-December 2022, the number of «white» miners increased 11 times, to 297. This number includes both active crypto miners and those who have just notified the ministry about the start of their activities. By December last year, there were 60 such firms (27 of them were engaged in mining in parallel). In total, there were 330 unique participants in the industry at the end of last year. In Fig. 2 presents a map of the presence of mining farms across the country [4].

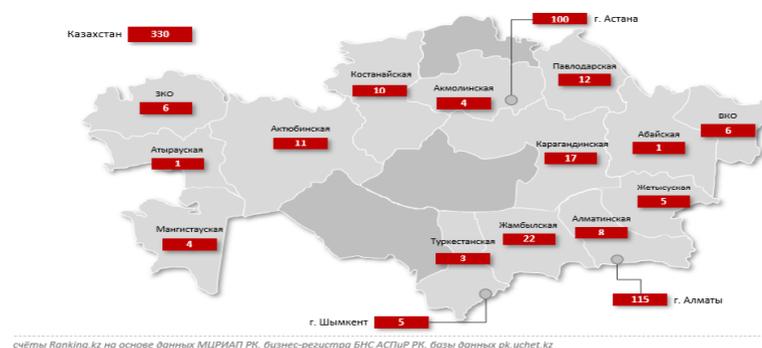


Figure 2 – Map of the presence of mining farms in Kazakhstan

As can be seen from Fig. 2, the main part of mining farms settled in Almaty and Astana (115 and 100) [4–6]. According to the proposals announced during the meeting of the Majilis of the parliament on December 26, 2022 x6], miners will be able to receive technical conditions for connection to electric networks, due to imports from other countries, from renewable sources electricity (RES) or from JSC «KORЭМ» at market prices with a positive balance of electricity. Fig. 3 shows data on electricity consumption in Kazakhstan for the period 2021-22.



Figure 3—Electricity consumption in Kazakhstan 2021–2022

As can be seen from Fig.3, the shortage of electricity occurred from May to September 2022, during this period there was a blackout in Kazakhstan and massive outages of consumers. In this regard, the organization of alternative energy supply to consumers is relevant.

Materials and methods

«NB-coin» LLP, located on the territory of the Akmola region, with 250 units of equipment for cryptocurrency mining, was chosen as the object of research. The purpose of the study is to increase the efficiency of the functioning of the mining farm. The objective of the research is to develop an automated control system and organization of backup power supply for mining farm equipment.

Results and discussion

In «NB-coin» LLP, the equipment of the manufacturer (asic) Antminer S9 is used. Table 1 shows the technical thermal conditions of the equipment (asic) Antminer S9.

Table 1–Technical characteristics of the Antminer S9 for thermal mode

Parameter	Meaning
Electrical power consumption	1400 wt
Operating temperature range	0°C ÷ +40°C
Cooling cooler performance	338 m³/h
Overall dimensions	329 x 127 x 159 mm

Fig 4 – shows the equipment (asic) Antminer S9.



Figure 4–Equipment (asic) Antminer S9

For normal maintenance of the temperature regime, heat from the room must be removed in order to avoid overheating and accidents.

When the room temperature rises above +40 °C, there is a natural decrease in farm productivity by more than 5 %.

To maintain the temperature regime, it is necessary to ensure the normal functioning of the equipment for this purpose, an air conditioning or forced ventilation system is organized, depending on the capacity of the mining farm.

It should be borne in mind, especially in winter, the air temperature should not be below 0 °C and should be heated.

Ensuring proper ventilation should ensure effective cooling of the cooling system of the mining farm equipment, while the following rule must be observed: the flows of cooled air should enter the room with the equipment at the entrance, and removal should be carried out in places where hot air accumulates. In the professional environment, this term is called the «cold and hot corridor principle». Fig. 5 shows the principle of operation of this scheme.

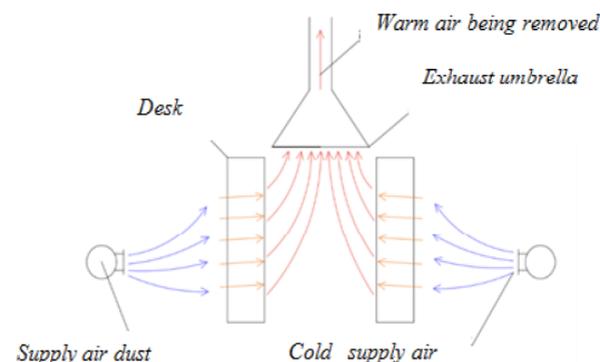


Figure 5–The principle of cold and hot corridor

We will perform the necessary calculations related to ensuring the necessary ventilation of the equipment of «NB-coin» LLP calculation and selection of equipment of optimal parameters. Table 1 shows the heat dissipation of 1 unit of equipment, respectively, as mentioned above, the number of equipment is 250 pieces. From this quantity we perform calculations.

- Tent - the room is 5° °C;
- Trem– from the room is +40 °C;
- The heat release from the equipment is the formula (1):

$$Q=1400 \times 250 = 350 \text{ kWt} \tag{1}$$

The heat capacity Cp of the air is- 1005 Wt/m2×K

We calculate the amount of air to remove the entire volume of heat:

$$G = Q \times 3600 / (C_p \times 1,2 \times (T_{ent} - T_{rem})) = 350000 \times 3600 / (1005 \times 1,2 \times (40 - 5)) = 29850 \text{ м}^3/\text{h}$$

It should be emphasized here that the heat removed from the equipment can be used to heat the outdoor air in winter and cool it in summer, in order to increase the efficiency of the ventilation system.

It is necessary to understand that ventilation systems are expensive equipment, therefore, either issues of equipment performance are being resolved or a ventilation system is being organized.

In our case, a forced ventilation system is organized in NB-coin LLP, which is not of the highest pricing shown in Fig. 6.

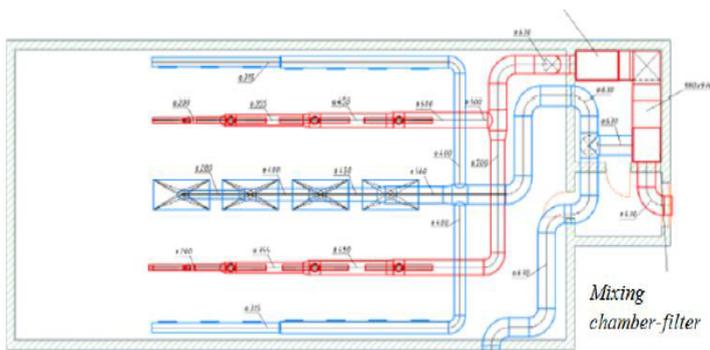


Figure 6– Ventilation system of «NB-coin» LLP

We will calculate the energy consumption of the equipment of «NB-coin» LLP. This calculation is made up of the total electricity consumption, both by the production equipment and by the administrative office [7-14].

The main equipment of for mining Me:

$$M_e = 250 \times 1,4 = 350 \text{ kW/h;}$$

2. Ventilation equipment fig.7, consumes 4 kW/h;



Figure 7–Fan group with freon cooler

3. The administrative building, taking into account the workplaces of employees, security systems and other low-current equipment, is 15 kW/h.

Now let's calculate the total energy consumption of the entire enterprise of «NB-coin» LLP formula (2).

$$E_{tot} = 350 + 4 + 15 = 369 \text{ kW/h} \quad (2)$$

The following equipment and materials are included in the reserve power supply [15-17].

1. Choose a diesel generator, according to the formula (2), the total energy consumption is 369 kW / h. Kazakhstan has a fairly wide range of diesel generator sets (diesel generator), so the choice was made by the company «AS-AI» LLP brand SDG 500S Fig. 8, the characteristics of which are shown in Table 2.



Figure 8–SDG 500S diesel generator

Table 3–Technical characteristics of SDG 500S DSU

Rated Power <i>kW/h</i>	Tank volume, <i>l</i>	Engine capacity <i>Cub/m</i>	Weight, <i>kg</i>	Overall dimensions, <i>m</i>
450	450	91,5		4,5×1,6×2,09

The diesel generator is selected with a margin for a possible increase in the number of equipment. The cost of the diesel generator of this brand is 24000000tenge.

2. Selection Of Batteries. Here my choice stopped on batteries of the brand SVC VP12150/S12 In 150 Ah (485=172=240) 2-005498. Fig. 9 shows the appearance of the battery.



Рисунок 9—Аккумулятор марки SVC VP12150/S

Let's calculate the number of required batteries for our system.

$$I = P / \sqrt{3} \times U \quad (3)$$

$$I = 369000 / \sqrt{3} \times 380 = 561 \text{ A}$$

In total, taking into account the fact that 1 battery gives 150A, we need 4-5 pieces. The cost of 1 battery of this brand is 157,000 tenge, respectively, for 4 batteries - 628,000 tenge.

3. Automation and accessories. Let's choose a cable for organizing the connection of power lines. Let's focus on the cables of the VVG brand, the number of cores is 1-5, the cross sections are different from 1.5-25. Fig. 10 shows the appearance of the VVG cable.

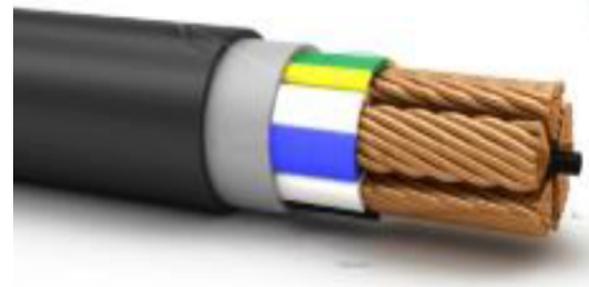


Figure 10—VVG cable

The cost of 1 meter of cable of this brand ranges from 1000 tenge per meter. We need more than 150 meters of cable of this brand, the cost of the cable will be 150,000 tenge.

The power cabinet. The complete set with the introductory automata is shown in Fig. 11.



Figure 11—Power cabinet

The cost of such a power cabinet is 150,000 tenge, it is produced in Kazakhstan, SK Magic Technology.

4. Installation and accessories. Only certified companies with appropriate certificates and permits should be engaged in the implementation of work on the organization of backup power supply. According to the market offers on the sites OLY, Roof, GARDEN and others, the cost of installation work will be at least 1000000tenge, obtaining permits 1000000tenge. The components not presented above, of a fairly wide range, take a sufficient amount of time to describe, so we

do not consider them. The approximate cost of all components and other works will be more than 9000000 tenge.

Fig. 12 shows the connection diagram of the diesel generator- this option when there are no additional batteries.

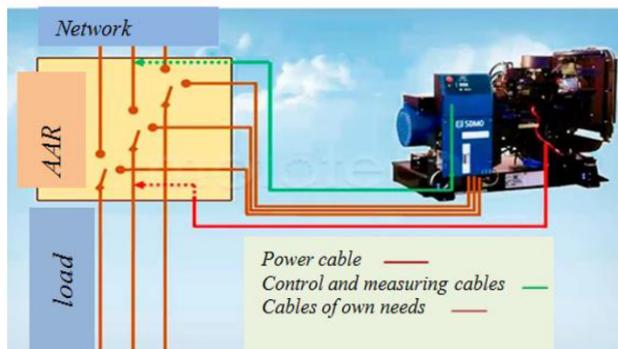


Figure 12– Connection diagram of a diesel generator

Fig. 13 shows the scheme of the AAR (automatic activation of the reserve).

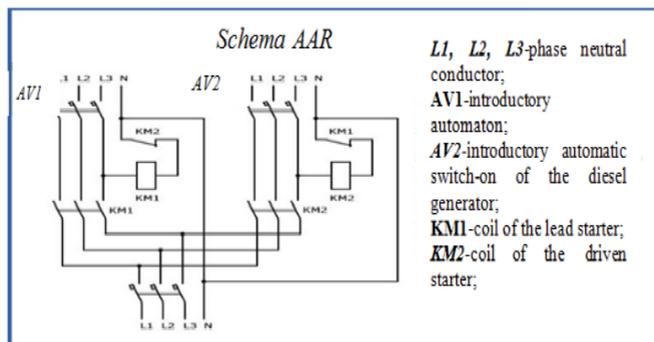


Figure 13–AAR diagram

As can be seen from Fig. 14, when the power supply from the external load is cut off, AB 2 automatically triggers the diesel generator. In Fig. 15 presents an automated system for managing the operation of the backup power supply. All connection of the equipment at which autorun of the diesel generator is provided is clearly shown, when the general power supply network of «NB-coin» LLP is

disconnected. The very fact of the presence of the AAR with the correct connection ensures the correct switching from the diesel generator to the general network and back.

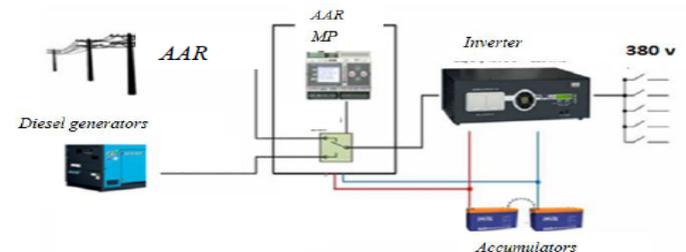


Figure 14–Automated backup power supply management system

Power supply management is carried out in automatic mode without human intervention, AAR, contactor unit allow control signals to be carried out, monitoring the current state of the power supply system. The presented automated control system provides not only the set research goal, but can be practically implemented.

Conclusions

To implement the above-mentioned backup power supply system for «NB-coin» LLP, an investment in the amount of 25928000 tenge (excluding emerging costs) or \$ 54736 is required. To date, the cost of 1 bitcoin is \$ 30,000 at the rate of the National Bank of the Republic of Kazakhstan. It is known from open sources that for mining 1 bitcoin with the appropriate amount of equipment, it takes from 1-1.5 months, Presumably NB-coin LLP, to get 1 bitcoin, it will take 6 months, in this case, the payback period of the project, conditional will be 1-1.6 years. With the existing problems of the Astana power grid, the organization of backup power supply of the enterprise will not only ensure trouble-free operation of equipment, but also increase the efficiency of cryptocurrency hashing.

REFERENCES

1 Novyi zakon o cifrovyykh aktivakh v RK posledstviya i perspektivi [New Law on Digital Assets][Electronic resource].-[https:// prg.kz/pravmedia /webinars_list/6864-.html](https://prg.kz/pravmedia/webinars_list/6864.html)

2 330 official'no zaimautsya mainingom v Kazakhstane [330 organizations are officially engaged in mining in Kazakhstan]:[Electronic resource].–<https://inbusiness.kz/ru/news/330-organizacij-oficialno-zanimayutsya-majningom-v-kazahstane>

3 Kolichestvo mainerov viroslo v Kazakhstane vdvoe [The number of miners in Kazakhstan has doubled][Electronic resource].–<https://kz.kursiv.media/2022-05-31/koliches tvo-belyh-majnerov- v-kazahstane-vyroslo-vd voe>

4 Kak uderzhat' mainerov v Kazakhstane [How to keep miners in Kazakhstan] [Electronic resource]: – URL: <https://kz.kursiv.media/2022-02-04/kak-uderzhat-majnerov-v-kazahstane>

5 Kazakhstan kotoryi ne smog, kak strana teryaet mainerov iz za politiki vlastey [Kazakhstan, which could not, as the country loses miners due to the policy of the authorities] [Electronic resource] : – URL:<https://forklog.com/exclusive/kazahstan-kotoryj-ne-smog-kak-strana-teryaet-majnerov-iz-za-politiki-vlas tej>

6 Iz Kazakhstana za god ushlo 70 % mainerov [70 % of miners left Kazakhstan in a year][Electronic resource]: – URL:<https://ranking.kz/reviews /indust ries / ne-samyj -sladkij-god-dlya-majnerov-70-kriptodobytkov-ushli-iz-kazahs tana-proizvoditelnost-sokratilas-vtroe-byudzhet-sobral-nalogov-na-5-millionov-dollarov.html> [Код доступа 30.05.2023]

7 **Kabyshev, A. V.** Elektrosnabzhenie obe'ktov. CH.1. Raschet elektricheskikh nagruzok, nagrev provodnikov i elektrooborudovaniya [Power supply of facilities]: Ch. 1. Calculation of electrical loads, heating of conductors and electrical equipment [Text] : textbook / A. V. Kabyshev . – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2007.

8 **Kudrin, B. I.** Elektrosnabzhenie promishlennich predpriyatii [Power supply of industrial enterprises] [Text] : textbook for university students. – 2nd ed. – Moscow: Internet Engineering, 2006.

9 **Kudrin, B. I.** Raschet elektricheskikh nagruzok potrebiteli istoriyz, sjstoyanie, kompleksnii metod[Calculation of electrical loads of consumers: history, state, complex method] [Text] // Industrial power engineering. – 2015. – № 5.

10 NTP EPP-94 (Normi technologicheskogo proektirovaniya) [Design of power supply of industrial enterprises] [Text]. – Moscow : «VNIP Tyazhpromelektroproekt», 1994.

11 Posobie k «Ukazaniyam po raschetu elektricheskikh nagruzok» [Manual for «Instructions for calculating electrical loads» (second edition)] [Text]. – М.: «VNIP Tyazhpromelektroproekt», 1993.

12 Pravila ustroystva elektroustanovok [Rules for the installation of electrical installations 7th ed] [Text]. – Moscow : Publishing House of NC ENAS, 2007.

13 RTM 34.18.32.4-92. Ukazaniya po raschetu elektricheskikh nagruzok [RTM 34.18.32.4-92 Instructions for calculating electrical loads] Instructional and

informational materials on the design of electrical installations [Text]. – Moscow : «VNIP Tyazhpromelektroproekt», 1993.

14 Spravochnik po proektirovaniu energosnabzheniya [Handbook of power supply design] [Text] / Edited by Yu.G. Barybin. – Moscow : Energoatomizdat, 2000.

15 Spravochnik po elektrosnabzheniu I elektrooborudovaniyu promishlennich predpriyatii I obshestvennich zdanii [Handbook on power supply and electrical equipment of industrial enterprises and public buildings] [Text] / Under the general editorship of professors of MEI (TU) S. I. Gamazin, B. I. Kudrin, S. A. Tsyruk. – Moscow : Publishing House of MEI, 2010

16 **Nasiri A., Hamidi S.** 19-Uninterruptible Power Supplies. [Text] Power electronics Handbook, 2018.–P. 641-657 [Electronic resource]: – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128114070000210>

17 **Cheng Yu., Zang Yu** and other. Energy Management Strategy of Fuel-Cell Backup Power Supply Systems Based on Whale Optimization Fuzzy ontrol.

[Text] / *Electronics* 2022, 11(15), 2325; [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.3390/electronics11152325>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Новый закон о цифровых активах [Электронный ресурс]. – https://prg.kz/pravmedia /webinars _list/6864-novyy-zakon-o-cifrovyyh-aktivah-v-rk-posledstviya-i-perspektiv y.html

2 330 организаций официально занимаются майнингом в Казахстане [Электронный ресурс]. – <https://inbusiness.kz/ru/news/330-organizacij-oficialno-zanimayutsya-majningom-v-kazahstane>

3 Количество майнеров в Казахстане выросло вдвое [Электронный ресурс]. – <https://kz.kursiv.media/2022-05-31/kolichestvo-belyh-majnerov- v-kazahstane-vyroslo-vdvoe>

4 Как удержать майнеров в Казахстане [Электронный ресурс]. – <https://kz.kursiv.media/2022-02-04/kak-uderzhat-majnerov-v-kazahstane>

5 Казахстан, который не смог, как страна теряет майнеров из-за политики властей [Электронный ресурс]. – <https://forklog.com/exclusive/ kazakhstan-kotoryj-ne-smog-kak-strana-teryaet-majnerov-iz-za-politiki-vlas tej>

6 Из Казахстана за год ушли 70 % майнеров [Электронный ресурс].– <https://ru.sputnik.kz/20230208/v-proshlom-godu-70-majnerov-ushli-iz-kazahstana-31895378.html>

7 **Кабышев, А. В.** Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования [Текст]: учебное

пособие / А. В. Кабышев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2007. –160с

8 **Кудрин, Б. И.** Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: учебник для студентов вузов. – 2-е изд. – М. : Интермет Инжиниринг, 2006.–181с.

9 **Кудрин, Б. И.** Расчет электрических нагрузок потребителей: история, состояние, комплексный метод [Текст] // Пром. энергетика. – 2015. – № 5

10 НТП ЭПП-94 (Нормы технологического проектирования). Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Текст] :М. : «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1994.

11 Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» (вторая редакция) [Текст] : М. : «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1993.

12 Правила устройства электроустановок. 7-е изд. [Текст]. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2007.

13 РТМ 34.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок [Текст]:М. : «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1993

14 Справочник по проектированию электроснабжения [Текст] // Под ред. Ю. Г. Барыбина. – М. : Энергоатомиздат, 2000.

15 Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий [Текст] // Под общ. ред. профессоров МЭИ (ТУ) С. И. Гамазина, Б. И. Кудрина, С. А. Цырука. – М. : Издательский дом МЭИ, 2010.

16 **Nasiri, A., Hamidi, S.** 19-Uninterruptible Power Supplies. [Text]: Power electronics Handbook, 2018.–P. 641-657 [Electronic resource]: – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128114070000210>

17 **Cheng, Yu., Zang, Yu and other.** Energy Management Strategy of Fuel-Cell Backup Power Supply Systems Based on Whale Optimization Fuzzy Control

[Text]: *Electronics* 2022, 11(15), 2325; [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.3390/electronics11152325>

Accepted for publication on 18.09.23

*К. М. Акишев¹, А. Д. Тулегүлов², М. Байжарикова³,
В. И. Карпов⁴, Р. Аян⁵

^{1,2,5}Қазақстан Республикасының Ғылым және Білім Министрлігі,
Қазақстан Республикасы, Астана қаласы;

Республика Казахстан, г. Астана;

³Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,

Республика Казахстан, г. Тараз

⁴Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского, Россия, г. Москва

Принято к изданию 18.09.23.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВНЫМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ МАЙНИНГОВОЙ ФЕРМЫ

Популярность цифровых денег в связи с высокими возможностями цифровых технологий, передачи данных, дает возможность осуществления быстрых транзакций и хранения капитала в форме электронных, виртуальных средств. Технология майнинга, позволяет в режиме реального времени добывать криптовалюту (биткойн, Натесоин и др.) используя большое количество видеокард для параллельных вычислений содов (хешей) при этом расходуется большое количество электроэнергии. Бум технологии майнинга пришелся на 2009–2015года, что послужило резкому росту потребления электроэнергии и недостаточности мощностей для развития других секторов экономики В Казахстане благодаря невысокой стоимости электроэнергии, произошел рост количества майнинговых ферм, в связи с чем произошло несколько блэкаутов. Как правило майнинговая ферма, не относится к потребителям I категории, для которых происходит переключение на другие фидеры, устранение аварий занимает в последнее время достаточно продолжительное время и остановка оборудования, вызывает перегрев и выход из строя видеокард, более того прерывается сам процесс вычислений, как правило на майниговых фермах, установлены UPS, которые не обеспечивают гарантийное функционирование оборудования. В представленной статье рассматривается организация резервного энергоснабжения майнинговой фермы, выбор и обоснование необходимого оборудования, автоматики.

Ключевые слова: майнинг, автоматизированные системы управления, резервное энергоснабжение, эффективность

*К. М. Акишев¹, А. Д. Тулегүлов², М. Байжарықова³,
В. И. Карпов⁴, Р. Аян⁵

^{1,2,5}Қазақстан Республикасының Ғылым және Білім Министрлігі,
Қазақстан Республикасы Астана қаласы;

Қазақстан Республикасы Астана қаласы;

³Тараз аймақтық университеті. М. Х. Дулати,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ;

⁴К. Г. Разумовский атындағы Мәскеу мемлекеттік

технологиялар және басқару университеті, Ресей, Мәскеу қ

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ТАУ КЕН ФЕРМАСЫН РЕЗЕРВТІК ЭНЕРГИЯМЕН ЖАБДЫҚТАУДЫ БАСҚАРУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ҰЙЫМДАСТЫРУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Цифрлық технологиялардың, деректерді берудің жоғары мүмкіндіктеріне байланысты цифрлық ақшаның танымалдығы жылдам транзакцияларды жүзеге асыруға және капиталды электрондық, виртуалды құралдар түрінде сақтауға мүмкіндік береді. Тау-кен технологиясы нақты уақыт режимінде криптовалюаны өндіруге мүмкіндік береді (Bitcoin, Natесоin және т.б.) параллель сода (хэш) есептеу үшін көптеген видеокардтарды қолдана отырып, электр энергиясының көп мөлшері жұмсалады. Майнинг технологиясының орлеуі 2009-2015 жылдарға келді, бұл электр энергиясын тұтынудың күрт өсуіне және электр энергиясының төмен құнының арқасында Қазақстанда экономиканың басқа секторларын дамыту үшін қуаттардың жеткіліксіздігіне, майнингтік фермалар санының өсуіне, осыған байланысты бірнеше қара түсті. Әдетте, тау-кен фермасы I санаттағы тұтынушыларға жатпайды, олар үшін басқа фидерлерге ауысу орын алады, апаттарды жою соңғы уақытта жеткілікті ұзақ уақытты алады және жабдықты тоқтатады, қызып кетуді және видеокардтың істен шығуын тудырады, сонымен қатар есептеу процесінің өзі үзіледі, әдетте тау-кен фермаларында ирс орнатылады, олар қамтамасыз етпейді жабдықтың кепілді жұмыс істеуі. Ұсынылған мақалада тау-кен фермасын резервтік энергиямен жабдықтауды ұйымдастыру әдістемесі, қажетті жабдықтар мен автоматиканы таңдау және негіздеу қарастырылады.

Кілтті сөздер: тау-кен, автоматтандырылған басқару жүйелері, резервтік энергиямен жабдықтау, тиімділік

FTAMP 28.01.75

<https://doi.org/10.48081/PUXW8195>

***Ж. С. Алимова**

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

ДЕРЕКТЕРДЕГІ ЖАСЫРЫН БАЙЛАНЫСТАРДЫ АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІ ТУРАЛЫ

Мақалада деректердегі жасырын байланыстарды анықтаудың әдістеріне шолу жасалады. Деректердегі жасырын байланыстар – корреляциялық талдау немесе регрессиялық талдау сияқты деректерді талдаудың әдеттегі әдістерін пайдалану арқылы анықталмайтын, айнымалылар арасындағы байланыстар немесе тәуелділіктер. Бұл жасырын байланыстарды, деректерді талдаудың күрделірек арнайы әдістерін қолдану арқылы ғана табуға болады. Соның ішінде, бұлыңғыр технологиялардағы В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын және енгізу-шығару талдауы аналитикалық жүйесін айта кету керек. Осы мақалада, Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымы (ЭЫДҰ(OECD)) есебіндегі, Қазақстан Республикасының 2019 жылғы миллиард АҚШ долларындағы салааралық байланыстар кестесінен алынған, қаржылық және сақтандыру қызметі (TTL_64T66: Financial and insurance activities) көрсеткіші деректерін пайдаланып, деректердегі жасырын байланыстарды анықтауға қолданылатын әдістердің бірі ретінде, В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын (енгізу-шығару талдауы) қолданудың мысалы қарастырылады және жұмсақ есептеулерін MS Excel ортасында жүзеге асыру нәтижелері келтіріледі. Бұл нәтижелер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің ИРН AP14972847 «Деректердегі айқын емес байланыстарды анықтау мен терең талдауды жүзеге асыратын алгоритмі мен компьютерлік бағдарламасын әзірлеу» мемлекеттік бюджеттік жобасын орындау барысында алынған нәтижелер болып табылады.

Кілттік сөздер: деректерді талдау, жасырын байланыстар, интеллектуалды талдау, салааралық талдау, В.Леонтьев теориясы.

Кіріспе

Ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуының нәтижесінде, биология, медицина, қаржы, транспорт сияқты және тағы басқа да барлық салаларда көптеген деректер жинақталды. Дегенмен, бұл деректер көбіне құрылымданбаған күйде кездеседі, және бұл деректер сипаттап тұрған процестер мен құбылыстарды дұрыс түсінуге қиындық туғызады. Осындай жағдайда, деректердегі жасырын (айқын емес) байланыстарды анықтау өзекті мәселеге айналады.

Деректердегі жасырын байланыстар ретінде, ондағы айнымалылардың арасындағы бірден байқалмайтын, бірақ осы деректер сипаттайтын құбылысты немесе процесті дұрыс түсіну үшін қажетті байланыстарды түсінеміз. Негізінен алғанда, деректер және ақпарат ұғымы қатар жүреді. Бұл екі ұғымды дұрыс түсіну керек. Ақпарат – бұл алынған білім. Білімді әртүрлі жолдармен алуға болады, мысалы, процесстің, зерттеулердің немесе қандай да бір жаңа пән аймағын талқылау нәтижесінің көрсеткіштерін өлшеу арқылы және т.б. Бірақ бұл ақпаратты жинақтау және тарату үнемі оңай бола бермейді. Кейбір ақпаратты өлшеуге болады, ал басқасын өлшеу мүмкін емес. Дегенмен, осы алған білімдерді сақтап, таратуға тырысатынымыз анық. Ақпаратты сақтау мен тарату тәсілдерінің бірі – оны кодтау. Міне, осы кодтау кезінде деректер жасалады. Сонымен, деректер деп кодталған ақпаратты түсінуге болады.

Деректер құрылымданған немесе құрылымданбаған болуы мүмкін. Құрылымданған деректердің мысалы ретінде, бағандар мен қатарларға жинақталған кестедегі мәліметтерді айта аламыз. Ал, құрылымданбаған деректерге Amazon-дағы мәтіндер, әлеуметтік желілердегі бейнелер, аудио және видео файлдар, әртүрлі дереккөздерден алынған әртүрлі форматтағы айнымалыларды жатқызуға болады. Мұндай құрылымданбаған деректерді құрылымданған деректерге айналдыру үшін арнайы әдістерді қолдану керек, және бұл деректердегі жасырын байланыстарды анықтаудың өзектілігін көрсетеді.

Осы мақалада, деректердегі жасырын (айқын емес) байланыстарды анықтайтын әдістерге шолу жасалады, және Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымы есебінен алынған деректерді пайдаланып (ЭБДҰ(OECD)), деректердегі жасырын (айқын емес) байланыстарды анықтауға қолданылатын әдістердің бірі ретінде, В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын қолданудың мысалы қарастырылады.

Материалдар мен әдістері

Деректердегі жасырын байланыстар ұғымын түсіну үшін қарапайым мысал қарастырайық: табыс пен адамдардың денсаулығы арасындағы байланысты өлшеп жатырсыз деп есептейік. Бір қарағанда, табыстың

денсаулыққа әсері болуы мүмкін болса да, іс жүзінде әсерді арттыратын көптеген басқа да әсерлер бар. Мысалы, өмір салты, тамақтану, тұқым қуалаушылық, қызметтердің қолжетімділігі және т.б. Бұл факторлардың барлығы бір-бірімен жанама түрде байланысты болуы мүмкін, бұл нақты себеп-салдар қағынастарын ажыратуды қиындатады. Осылайша, деректердегі жасырын байланыстарды анықтау – қандай факторлар құбылысты немесе процесті нақты сипаттайтынын, және сол құбылыс пен процестердің болашақта болатын өзгерістеріне не түрткі болуы мүмкін екенін түсінуге көмектеседі.

Деректердегі жасырын байланыстар – корреляциялық талдау немесе регрессиялық талдау сияқты деректерді талдаудың әдеттегі әдістерін пайдалану арқылы анықталмайтын, айнымалылар арасындағы байланыстар немесе тәуелділіктер. Бұл жасырын байланыстарды деректерді талдаудың күрделірек арнайы әдістерін қолдану арқылы ғана табуға болады. Жасырын байланыстарды табу жүйе әрекетін дәлірек болжау және негізделген шешімдер қабылдау үшін пайдалы болуы мүмкін.

Қазіргі таңда, деректердегі жасырын байланыстарды анықтайтын әдістердің көптеген түрлері бар: корреляциялық талдау; регрессиялық талдау; факторлық талдау; негізгі құрамдас талдау; кластерлік талдау; уақыттық қатарларды талдау; Байес желілері; Марков үлгілері; нейрондық желілер; құрылымдық теңдеулерді модельдеу; графикалық модельдер мен алгоритмдер; желілік деректерді талдау; мәтіндік мәліметтерді талдау; машиналық оқыту әдістері; терең оқыту әдістері және т. б. [1]

Сонымен қатар, деректерді талдау және байланыстарды ашу үшін жиі қолданылатын математикалық модельдер мен әдістерді де атап өтуге болады: AR (Autoregressive model) авторегрессивті модель - уақыт қатарының ағымдағы мәні сол қатардың алдыңғы жазбаларына тәуелді болатын модель; MA (Moving average model) жылжымалы орташа үлгі – уақыт қатарының ағымдағы мәні алдыңғы болжау қателеріне байланысты болатын модель; ARIMA (Autoregressive moving average model) авторегрессивті біріктірілген жылжымалы орташа үлгі – уақыт қатарларының айырмашылығын анықтайды, содан кейін біріктірілген деректерге ARMA қолданады; SARIMA (Seasonal model ARIMA) маусымдық ARIMA үлгісі – маусымдық уақыт қатарларының құрамын ескере отырып ARIMA моделін кеңейтеді; ETS (Exponential smoothing taking into account errors, trend and seasonality) қателерді, тренд және маусымдықты ескере отырып экспоненциалды тегістеу - уақыт қатарын модельдейді, экспоненциалды тегістеуді, трендті және маусымдылықты ескереді; GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) Жалпыланған авторегрессивті шартты гетероскестивтілік - уақыт қатарындағы, көбінесе қаржылық деректердегі

өзгермелілікті (гетероскедастықты) анықтау үшін пайдаланылады; VAR (Vector autoregression) векторлық авторегрессия – бірнеше уақыт қатарлары арасындағы қатынастарды сипаттау үшін пайдаланылады; VECM (Vector Error Correction Model) векторлық қатені түзету моделі – ұзақ мерзімді қатынастарды және қателерді алдын ала түзете отырып VAR кеңейтеді; Мемлекеттік ғарыш модельдері (State-observation models) мемлекеттік бақылау үлгілері – уақыт қатарларын бақылау және жасырын жағдайлар ретінде сипаттай алады; Хольта-Винтерстің үш еселік экспоненциалды тегістеуі – экспоненциалды тегістеу арқылы тренд пен маусымдықты есепке алу үшін ETS кеңейтеді; Стохастикалық уақыт қатарлары – уақыт қатарларының стохастикалық сипатын ескеретін әртүрлі модельдерді қамтиды; DeepAR (Deep autoregression) терең авторегрессия – күрделі уақыт қатарын модельдеу үшін терең оқытуды пайдаланады; Фурье түрлендіруі – деректердің мерзімділігі мен маусымдылығын талдау үшін қолданылады және т.б. [2-6]

Осы мақалада, деректердегі жасырын байланыстарды анықтауға қолданылатын әдістердің бірі ретінде, В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын қолданудың мысалы қарастырылады.

Профессор Василий Леонтьев 1930 жылдардың аяғында енгізу-шығару талдауы аналитикалық жүйесін әзірлеген, және ол үшін 1973 жылы экономика бойынша Нобель сыйлығын алды [7]. Енгізу/шығару туралы айтқанда адамдар көбінесе Леонтьев моделі туралы айтады. Салааралық талдау термині де қолданылады, өйткені енгізу-шығару жүйесінің негізгі мақсаты экономикадағы салалардың өзара тәуелділігін талдау болып табылады. Бүгінгі таңда Леонтьев баяндаған негізгі түсініктер экономикалық талдаудың көптеген түрлерінің негізгі құрамдас бөліктері болып отыр және шын мәнінде кіріс-шығыс талдауы экономикада кеңінен қолданылатын әдістердің бірі ретінде мойындалған [8].

В.Леонтьев ұсынаған динамикалық салааралық моделі, экономикалық процестердің әртүрлі мәселелерін зерттеуде дифференциалдық теңдеулер теориясын пайдаланудың классикалық үлгісі болып табылады және қызмет етеді. Оның экономикалық модельдер жүйесіндегі орнын былайша түсіндіруге болады:

1) қоғамдық өнім мен ұлттық табысты ұдайы өндірудің қарапайым моделін бөлшектеу (дезагрегирленген) ретінде;

2) салааралық баланстың статикалық моделін дамытуы (динамизациялау) ретінде.

Әрі қарай таныстыруда нәтижелерді ашу және оған жету жолдарының бірі ретінде бірінші жолды таңдаймыз.

Сонымен, есептің қойылуы: ЭЫДҰ (OECD) есебінің Қазақстан Республикасының 2019 жылғы миллиард АҚШ долларындағы салааралық байланыстар кестесінен алынған, қаржылық және сақтандыру қызметі (TTL_64T66: Financial and insurance activities) [9] көрсеткіші деректерін талдау кезінде, сұраныс пен ұсыныс бағаларының тепе-теңдік қатынасын анықтау тәсілі ретінде, В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын (енгізу/шығару талдауы) қолданудың мысалын қарастырайық.

Бұл есепті шешуге қажетті деректерді дұрыс түсіну үшін, алдымен, деректерді тазалау қажет, яғни әрі қарай талдау мен моделдеуге ұсынылатын, деректердің ішкі жиындары таңдап алынуы керек. Осы тұста, құрылымданбаған немесе әлсіз құрылымданған деректерді терең талдауы есептерінің интеллектуалды аналитикалық моделін құруға қажетті жұмсақ есептеу технологияларының бірі ретінде бұлыңғыр (нечеткая) технологиясы қолданылады. Оның ішінде, В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын атап өтуге болады [7].

Бұл теорияға сүйене отырып, сұраныс (Purchase/buying) пен ұсыныстың (employment) тепе-теңдік құнының негізгі траекторияларына жету шарттарын қызметкерлердің (жұмыс істейтіндердің) жалақысынан (Wages and taxes ϵ'_{wj}), және бизнестен түсетін пайданан (Gross saving ϵ'_{sj} , Imports ϵ'_{mj}) алынған жиынтық кірісті басқару арқылы анықтауға болады [10] және 1-кестеде MS Excel ортасында есептеу нәтижелері келтірілген.

Кесте 1 – Қаржылық және сақтандыру қызметі көрсеткіші бойынша ұсыныс құны (employment) мен салааралық өнім/сату құны (intersectoral produce/selling)

TTL_64T66: Қаржылық және сақтандыру қызметі	Қаржылық және сақтандыру қызметі	Қалған экономика
Қаржылық және сақтандыру қызметі	Z_{1j}	Z_{1r}
Қалған экономика	Z_{2j}	Z_{2r}
Салааралық өнім/сату	$\Sigma_{(j)} Z_{(j)}$	0,09
Жалақы және салық	ϵ'_{wj}	0,74
Жалпы үнемдеу	ϵ'_{sj}	0,00
Импорттар	ϵ'_{mj}	0,06
Ұсыныс	$\Sigma_{(j)} \epsilon'_{(j)}$	0,80
Енгізу	p'_{1j}	0,89

Анықталған деректерге В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясының моделі негізінде, қаржы процестерінің әртүрлі мәселелерін зерттеуге арналған дифференциалдық теңдеулер теориясы мен тепе-теңдік өсудің динамикалық моделін қолдану арқылы айырымдық теңдеулер жүйесін аламыз. Яғни, Тепе-теңдік өнім, еңбек және капитал нарықтарының есептелетін моделін экономикалық-математикалық тұжырымдау кезінде, 1) жалпы қосылған құн мен қаржылық өсім есебінің сызықтық формасын барынша азайтатын тауарлар мен қызметтердің тепе-теңдік шығарылымының белгісіз бағандық векторын табу қажет екенін, және, сонымен қатар, 2) қолда бар табыстың сызықтық формасын барынша арттыратын тауарлар мен қызметтердің тепе-теңдік құнының белгісіз векторын, тепе-теңдік жалақы мөлшерлемесін және пайданың тепе-теңдік нормасын табу қажет екенін ескереміз. Бұл есептеулерді MS Excel ортасында жүзеге асыру нәтижесінде, ҚР қаржылық және сақтандыру қызметі көрсеткішінің 1995–2018 жж деректеріндегі, ұсыныс (employment) пен сұраныс (purchase/buying) бағалары анықталады (2-кесте).

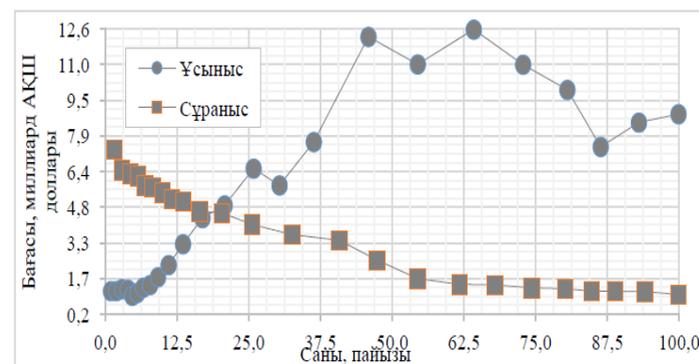
Кесте 1 – ҚР қаржылық және сақтандыру қызметі көрсеткішінің (1995-2018 жж., млрд АҚШ доллары) деректеріндегі ұсыныс пен сұраныс бағалары

Жыл	Ұсыныс	Сұраныс	Жыл	Ұсыныс	Сұраныс
1995	0,8	0,09	2007	5,34	0,57
1996	0,82	0,1	2008	6,47	0,73
1997	0,9	0,11	2009	5,73	0,51
1998	0,89	0,11	2010	6,66	0,8
1999	0,71	0,09	2011	5,13	1,78
2000	0,85	0,08	2012	5,61	2
2001	1,01	0,09	2013	7,44	2,35
2002	1,19	0,13	2014	7,26	2,19
2003	1,43	0,16	2015	7,08	1,73
2004	1,95	0,24	2016	6,15	1,53
2005	2,71	0,32	2017	6,9	2,19
2006	4,29	0,46	2018	6,76	2,97

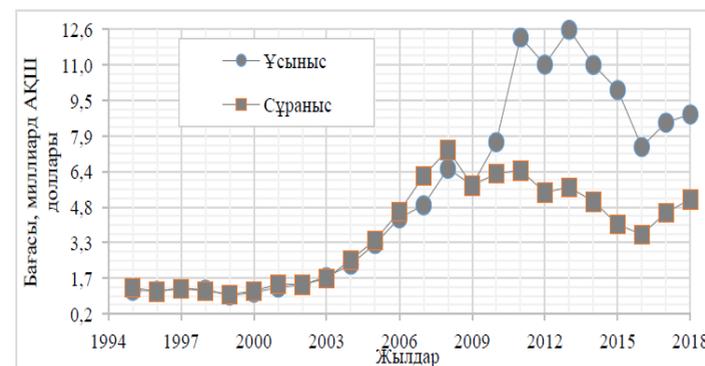
Нәтижелер және талқылау

В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын (енгізу/шығару талдауы) қолданудың нәтижесінде алынған бұл деректер, осы ҚР қаржылық және сақтандыру қызметі көрсеткішінің 1995–2018 ж.ж (млрд АҚШ доллары) деректеріндегі басқа да жасырын байланыстарды көруге

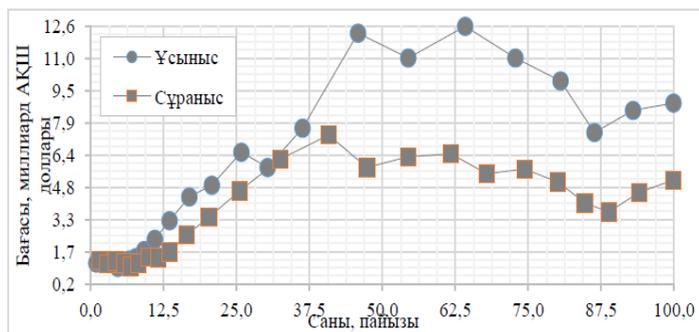
мүмкіндік береді. Мысалы, ұсыныс пен сұраныстың тепе-теңдік құны мен көлемін, қаржылық өсімін (1-, 2-, 3-сурет).



Сурет 1 – ҚР қаржылық және сақтандыру қызметі секторындағы ұсыныс пен сұраныстың тепе-теңдік құнының өсімі



Сурет 2 – ҚР қаржылық және сақтандыру қызметі секторындағы ұсыныс пен сұраныс құны



Сурет 3 – ҚР қаржылық және сақтандыру қызметі секторындағы ұсыныс пен сұраныс көлемі

Қорытынды

Қорыта айтқанда, мақалада деректердегі жасырын байланыстарды анықтаудың әдістерін зерттеу барысындағы кейбір нәтижелер қарастырылды. деректердегі жасырын байланыстарды анықтаудың әдістеріне шолу жасау негізінде, бұл тақырыптың маңыздылығын көруге болады. Сондай-ақ, деректердегі жасырын байланыстарды анықтауда В.Леонтьевтің динамикалық салааралық талдау теориясын (енгізу-шығару талдауы) қолданудың ерекше орны бар екендігі анықталды. Және бұл әдістің негізінде талдау есептерінің сапалы нәтижелерін алуға және деректер сипаттап тұрған процестер мен құбылыстарды дұрыс түсінуге болады. Жұмысты орындау барысында, Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымы (ЭЫДҰ(ОECD)) есебіндегі, Қазақстан Республикасының 2019 жылғы миллиард АҚШ долларындағы салааралық байланыстар кестесінен алынған, қаржылық және сақтандыру қызметі (TTL_64T66: Financial and insurance activities) көрсеткіші деректері пайдаланылды, және жұмсақ есептеулері MS Excel ортасында орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Алимова, Ж. С.** О методах выявления скрытых взаимосвязей в больших данных [Текст] // «XV Сагиновские чтения. Материалы международной научно-практической конференции «Интеграция образования, науки и производства» / Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова. - Караганда: Издательство Карту А. Сагинова, 2023. 2 - ч. - стр. 119-122.

2 **Елисеева И. И.** Эконометрика: учебник [Текст] / Под ред. Елисеевой И. И. – 2-е изд. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 576 с.

3 **Lai D., Lu B.** Understanding Autoregressive Model for Time Series as a Deterministic Dynamic System. [Текст] - Archived 2023-03-24 at the Wayback Machine, in Predictive Analytics and Futurism, №5-2017, P 7-9.

4 **Brooks C.** Introductory Econometrics for Finance (3rd ed.). [Текст] – Cambridge: Cambridge University Press, 2017 – P. 461.

5 **Asteriou D. Hall S. G.** Vector Autoregressive (VAR) Models and Causality Tests. Applied Econometrics (Second ed.). [Текст] – London: Palgrave MacMillan. 2011 – P. 319–333.

6 **Enders W.** Applied Econometric Time Series (Third ed.). [Текст] - New York: John Wiley & Sons. 2010 –P. 272–355.

7 **Leontief W.** Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States, [Текст] Rev. Econ. Stat., vol. 18, P. 105–125, 1936.

8 **Miller R. E., Blair P. D.** Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. [Текст] Cambridge University Press, Jul 30, 2009 – Business & Economics – 784 P. 2009

9 OECD Homepage, [online] Available: <https://stats.oecd.org>.

10 **Керимкулов С. Е.** Моделирование макроэкономических процессов в Казахстане. [Текст] – Алматы : НИЦ «Ғылым», 2001–240 с.

REFERENCES

1 **Alimova, Zh. S.** O metodax vy`yavleniya skry`ty`x vzaimosvyazej v bol`shix dannyx [About methods of revealing hidden relationships in big data] [Text] // «XV Saginovskie chteniya. Materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Integraciya obrazovaniya, nauki i proizvodstva» / Karagandinskij texnicheskij universitet imeni Abilkasa Saginova. – Karaganda: Izdatel`stvo Kartu A. Saginova, 2023. 2 – ch. – P 119–122.

2 **Eliseeva I. I.** E`konometrika: uchebnik [Econometrics: textbook] [Text] / Pod red. Eliseevoj I. I. – 2-e izd. – Moscow. : Finansy` i statistika, 2006. – 576 p.

3 **Lai D., Lu B.** Understanding Autoregressive Model for Time Series as a Deterministic Dynamic System. [Text] – Archived 2023-03-24 at the Wayback Machine, in Predictive Analytics and Futurism, № 5-2017, P 7–9.

4 **Brooks C.** Introductory Econometrics for Finance (3rd ed.). [Text] – Cambridge: Cambridge University Press, 2017 – P. 461.

5 **Asteriou D. Hall S. G.** Vector Autoregressive (VAR) Models and Causality Tests. Applied Econometrics (Second ed.). [Text] – London : Palgrave MacMillan. 2011 – P. 319–333.

6 **Enders W.** Applied Econometric Time Series (Third ed.). [Text] - New York: John Wiley & Sons. 2010 –P. 272-355.

7 **Leontief W.** Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States, [Text] Rev. Econ. Stat., vol. 18, P. 105-125, 1936.

8 **Miller R. E., Blair P. D.** Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. [Text] Cambridge University Press, Jul 30, 2009 – Business & Economics – 784 p. 2009

9 OECD Homepage, [online] Available: <https://stats.oecd.org>.

10 **Kerimkulov S. E.** Modelirovanie makroekonomicheskikh processov v Kazaxstane. [Modeling of macroeconomic processes in Kazakhstan] [Text] - Almaty` : NICz «Fy`ly`m», 2001–240 p.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

Ж. С. Алимов

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

Принято к изданию 18.09.23.

О МЕТОДАХ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ДАННЫХ

В статье представлен обзор методов выявления скрытых взаимосвязей в данных. Скрытые взаимосвязи в данных – это отношения или зависимости между переменными, которые невозможно обнаружить с помощью традиционных методов анализа данных, таких как корреляционный анализ или регрессионный анализ. Эти скрытые связи можно обнаружить только с помощью более сложных методов анализа данных. Среди них следует отметить теорию динамического межотраслевого анализа В. Леонтьева и аналитическую систему межотраслевого анализа в нечетких технологиях. В данной статье с использованием данных показателя финансовой и страховой деятельности (TTL_64T66: Financial and insurance activities), взятых из таблицы межотраслевых связей в миллиардах долларов США Республики Казахстан в отчете Организации по Экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР) представлены методы выявления скрытых взаимосвязей в данных, в качестве одного из них рассмотрен пример использования теории динамического межотраслевого анализа В. Леонтьева (анализ «затраты-выпуск») и результаты приведены программные расчеты в среде MS Excel. Данные результаты являются результатами,

полученными в ходе реализации государственного бюджетного проекта Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан АР14972847 «Разработка алгоритма и компьютерной программы выявления и углубленного анализа неясные связи в данных».

Ключевые слова: анализ данных, скрытые связи, интеллектуальный анализ, междисциплинарный анализ, теория В.Леонтьева.

Zh. S. Alimova

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Accepted for publication on 18.09.23

ABOUT METHODS FOR IDENTIFYING HIDDEN RELATIONSHIPS IN DATA

The article provides an overview of methods for identifying hidden relationships in data. Hidden relationships in data are relationships or dependencies between variables that cannot be detected using traditional data analysis techniques such as correlation analysis or regression analysis. These hidden connections can only be discovered through more sophisticated data analysis techniques. Among them, we should note the theory of dynamic inter-industry analysis by V. Leontiev and the analytical system of inter-industry analysis in fuzzy technologies. This article, using data from the indicator of financial and insurance, taken from the table of intersectoral relationships in billions of US dollars of the Republic of Kazakhstan in the report of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), presents methods for identifying hidden relationships in the data. As one of them, an example of using the theory of dynamic inter-industry analysis by V. Leontiev (input-output analysis) is considered and the results are given by software calculations in the MS Excel environment. These results are the results obtained during the implementation of the state budget project of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan АР14972847 «Development of an algorithm and computer program for identifying and in-depth analysis of unclear connections in data.»

Key words: data analysis, hidden connections, intellectual analysis, interdisciplinary analysis, V. Leontiev's theory.

<https://doi.org/10.48081/VXWG4153>

***А. А. Бектасова¹, А. К. Ашимова¹, К. Б. Шақенов¹,
Е. А. Сарсенбаев¹**

¹Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

e-mail: Bektasova_aa@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В данной статье представлены перспективы развития возобновляемой энергетики Казахстана. Произведен анализ ветроэнергетического оборудования. Рассмотрены типы ветряных установок (по количеству лопастей, по номинальной мощности, по направлению оси, по месту расположения). Показаны различия между ветряками, у которых оси вращения: горизонтальная и вертикальная. Отмечено, что горизонтальные установки необходимо по направлению ветра ориентировать, в отличие от вертикальных. Также для горизонтальных ветряков обязательным условием является высокая мачта, так как потоки ветра интенсивнее на высоте на ротор. Меньше пугаются в этом вертикальные установки. Эффективность работы выше в целом у горизонтальных устройств, чем у вертикальных. В статье рассмотрены типы ветрогенераторов. Описаны конструкции, особенности их конструкции, достоинства и недостатки. Рассмотрены принципы работы устройств, область применения. Рассмотрен коэффициент полезного действия для вертикального и горизонтального ветрогенераторов. Коэффициент полезного действия для вертикального и горизонтального ветряных турбин имеют примерно одинаковое значение. Для вертикальных ветряков это 20 – 30 %, для горизонтальных установок 25 – 35 %.

Отмечено в статье, что интерес к возобновляемой энергетике, а именно ветроэнергетике, помогает определять странам вопросы экологии и энергетической безопасности.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветрогенераторы, ветроколеса, ветротурбины, лопасть

Введение

В последнее время в мире проводятся исследования по созданию мощных ветряных электростанций (несколько сотен МВт), подключенные к сетевым энергосистемам государства. Каждый год увеличивается финансирование в ветроэнергетике, а, следовательно и повышается качество работ и объем работ в данной отрасли. Казахстан наравне со всеми странами мира объединяет одно общее активное стремление к развитию различных видов возобновляемой энергетики, таких, как ветер, солнце, геотермальные источники и биологическое топливо.

В Казахстане развитие и создание возобновляемой энергетики определено законами РК «Об энергосбережении», «Об энергетике», «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» и другими законодательными постановлениями.

В настоящее время, государство выделяет всё больше инвестиций в сферу производства электроэнергии возобновляемыми источниками энергии, в этой связи объемы выработки растут в среднем на 3 % в год.

В соответствии положения о переходе нашей страны к «зелёной» экономике, процентное соотношение возобновляемых источников электрической и механической энергии к 2030 году планируется составлять 10 % от объёма производства энергии, к 2050 году планируется 50 %, с учётом нетрадиционной энергетики.

Материалы и методы Основой работы ветроэнергетических установок является способ преобразования силы ветра, которая преобразует кинетическую энергию воздушного потока во вращательную механическую энергию ротора, которая затем используется для вращения вала электрогенератора. Способ преобразования энергии ветра обязательно состоит из двух основных групп: 1 – Механической (аэродинамической) группы (ротора, (мультипликатор), и 2 – Электрической (электродинамической) группы (электрогенератор с системой преобразования электроэнергии) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурная схема для системы преобразования ветра, подключенной к электросети

Классификация ветроэнергетических установок. Ветряная турбина, преобразующая энергию ветра в электрическую или механическую энергию, делает ее пригодной для практического использования. Механическая энергия применяется в отдаленных районах для подъема уровня воды. Ветроэлектростанции вырабатывают электроэнергию для промышленных и бытовых нужд, работая независимо в общей электросети или совместно с другими электростанциями.

Ветрогенераторы характеризуются экологичностью и обеспечивают потребителей в течение неограниченного времени бесплатной энергией. Ветрогенераторы – ветроэлектростанции имеют разную мощность, что позволяет применять их в разных областях.

Обычно ветроэлектростанции устанавливаются на возвышенностях (холмы, горы), побережья морей и океанов, где постоянные активные потоки воздуха. Этим достигается максимальная эффективность. Главной деталью ветроустановки является рабочее колесо, которое выполняет функцию турбины. Обычно используются конструкции ветротурбин с тремя лопастями в виде пропеллера (рисунок 2), устанавливаемые на значительной высоте от поверхности земли. [1]



Рисунок 2 – Конструкции ветротурбин в виде пропеллера

В принципе работы ветротурбин используется энергии ветра. Поток ветра действует на лопасти рабочего колеса, заставляя их вращаться. Далее передается на генератор, который вырабатывает электроэнергию. Заряжает аккумуляторы генератор, от которых он подается на инвертор, который создает переменный ток напряжением 220 В 50 Гц, необходимый пользователям. [2]

Реальный к.п.д. лучших ветровых колес достигает 45 % в случае устойчивой работы при оптимальной скорости ветра. [3]

К основным критериям, определяющим типы ветряных турбин, относятся следующие:

– Разница в числе лопастей. До 4 лопастей имеют быстроходные и малоллопастные, а выше – соответственно тихоходные устройства с многолопастями. Частота вращения двигателя зависит от числа лопастей. Она выше, чем меньше число лопастей.

- Значение номинальной мощности. Установки бывают: бытовыми (до 15 кВт), полупромышленными (от 15 до 100 кВт), а также промышленными (от 100 кВт до 1 Мвт).

– Направление оси. Обычно применяются два типа. Первая конструкция имеет горизонтальную ось, перпендикулярную движению ветра, которая напоминает обычный атмосферный флюгер. Такие генераторы характеризуются высокой эффективностью и разумной ценой. Вторая конструкция генератора с вертикальной осью компактна, не зависящая от направления воздушных потоков. Ее лопасти имеют вид турбин. Мощность такой конструкции значительно меньше, так как снижается нагрузка на ось. Возможно использование нескольких генераторов на электростанциях с разными осями, подключенных к сети, что позволяет получать высокую мощность на относительно небольшой площади.

– По местоположению. Наземные установки широкого применения. Они расположены в горах и на высокогорьях, также на площадках специально подготовленных. Прибрежные ветростанции устанавливаются вблизи побережий морей и океанов. Электричество круглосуточное, без перебоев. Шельфовые ветростанции строятся в море на расстоянии 10 – 12 км от побережья. Здесь генераторы применяют энергию, вырабатываемую обычными морскими ветрами. [4]

Ветроустановки в зависимости от расположения оси вращения бывают горизонтально-осевые и вертикально-осевые.

Первая группа, как правило, бывают крыльчатого или пропеллерного типа (рисунок 3а). В этом случае плоскость вращения воздушного колеса перпендикулярна направлению потока ветра, а ось соответственно параллельна потоку. Рабочее колесо может находиться за опорной башней, а также перед ней.

В ветроэлектростанциях обычно применяется 2- или 3-лопастные ветроколеса, плавностью хода характеризуются с тремя лопастями. Электрический генератор обычно располагается в поворотной головке в верхней части башни. Многолопастные ветроколеса развивают даже при

слабой скорости ветра большой крутящий момент, использующиеся для агрегатирования машин, не требующих высоких скоростей.

С вертикальной осью ветроустановки (рисунок 3б) при любом направлении потока ветра, благодаря расположению оси вращения, находятся в рабочем состоянии, ось вращения ветряного колеса перпендикулярна потоку ветра. В такой ветроэлектростанции, удлинив вал, генератор возможно разместить в нижней части башни.

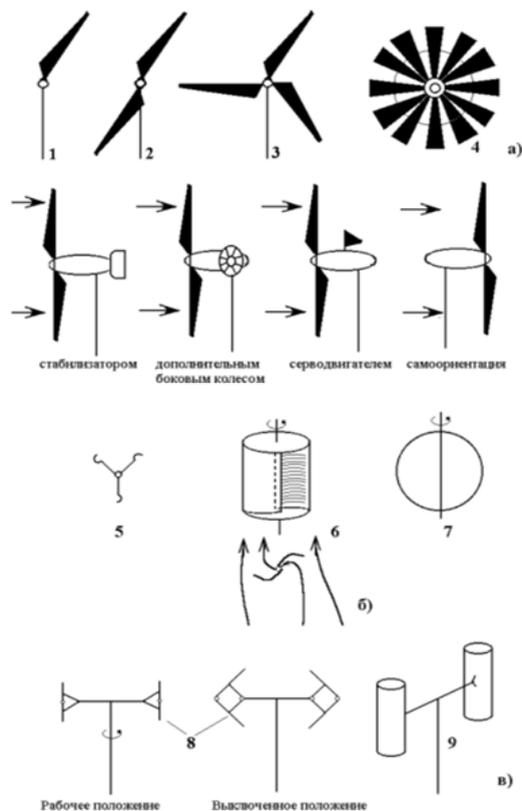


Рисунок 3 – Основные виды ветряных колес с горизонтальной (а) и вертикальной осью (б): 1 – однолопастное колесо; 2 – двухлопастное; 3 – трехлопастное; 4 – многолопастное; 5 – чашечный анемометр; 6 – ротор Савониуса; 7 – ротор Дарье; 8 – ротор Масгрува; 9 – ротор Эванса

Результаты и обсуждение Различием между двумя типами конструкций является необходимость ориентировать горизонтальное оборудование по направлению потока ветра и неприхотливость к этому вертикальных ветряных турбин. Кроме того, обязательным условием для горизонтальных ветряков является высокая мачта, так как данное расположение обеспечивает максимальную эффективность, воздушные потоки интенсивнее воздействуют на ротор. Вертикальные установки не требуют подъема над уровнем земли.

В то же время эффективность горизонтальных ветряных турбин, как правило, выше, чем у вертикальных ветряков. Связано это с тем, что лопасти вертикальных устройств оказывают благотворное воздействие на рабочие установки и противодействуют нагрузкам с обратной стороны. Уменьшение уравновешивающего эффекта потока на обратных сторонах лопастей есть главная задача конструкторов, разрабатывающих наиболее выгодную форму рабочего ветроколеса.[2]

Рассмотрим эти типы поподробнее, потому что каждый из них имеет разработки и усовершенствования.

Типы вертикальных ветрогенераторов (карусельного типа)

Вертикальные ветряные турбины часто применяются для бытовых нужд. Ими легко управлять. Требующие внимания основные узлы располагаются в нижней части установки, также они свободные для доступа.

1 Установки-генераторы с ротором Савониуса, состоящие из двух цилиндров. Ветровой поток не зависит от постоянного осевого вращения. И при резких порывах ветра он вращается с первоначально установленной скоростью.

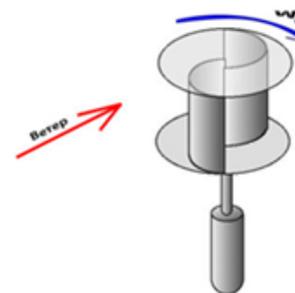


Рисунок 4 – Ротор Савониуса

Хорошим преимуществом является отсутствие влияния на скорость вращения потока ветра. К недостатку можно отнести то, что использование силы ветра не на полную мощность, а только на треть. Данное устройство может работать всего с одной четвертью оборота.

2 Устройство с ротором Дарье имеет две или три лопасти. Прост в установке. Дизайн прост и понятен. Работать может начать от ручного запуска.

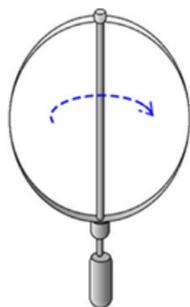


Рисунок 5 – Ротор Дарье

К недостатку можно отнести маломощность. Сильная вибрация вызывает много шума из-за большого количества лопастей.

3 Устройство с геликоидным ротором. Вращение генератора происходит равномерно за счет закрученных лопастей. Подшипники быстрой деформации не подвержены, тем самым продлевая срок службы.

Монтаж установки требует много времени, так как связано с трудностями при монтаже. Сложная технология производства отразилась на высокой стоимости.

4 Многолопастный ротор

Эффективность таких турбин высока благодаря конструкции вертикально-осевой, так как заставляет вращаться даже при слабом ветре.

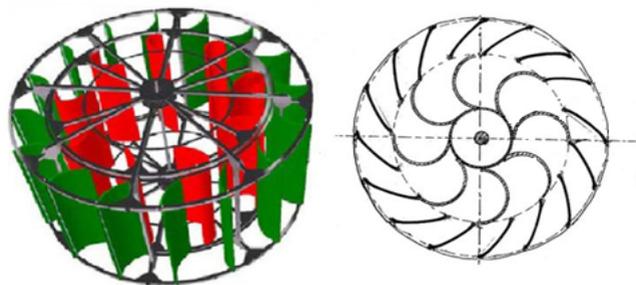


Рисунок 6 – Многолопастный ротор

Он является мощным преобразователем, использующий по максимуму энергию ветра. Высокая стоимость. К недостатку относится высокий фоновый шум. Может генерировать значительно больший объем электричества.

5 Устройство с ортогональным ротором вырабатывает энергию при ветре, скорость которого составляет 0,7 м/сек. Устройство состоит из лопастей и вертикальной оси. При применении в работе не шумный, необычный дизайн. Срок эксплуатации – несколько лет.

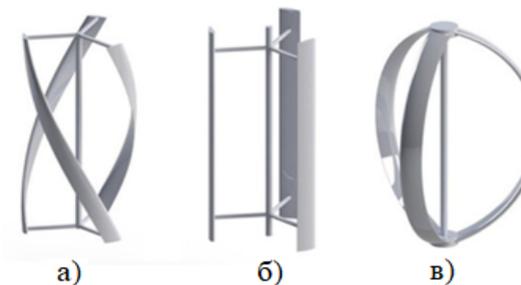


Рисунок 7 – Ортогональные роторы:
а) геликоидный, б) с прямыми лопастями, в) Дарье

При монтаже установки вызывает сложность большой вес. Конструкция громоздкая.

К преимуществам вертикальных ветряков можно отнести:

- 1) Эксплуатация генераторов возможна при слабом ветре.
- 2) Не зависят от направления ветра.
- 3) Устанавливаются на небольшой мачте, следовательно можно обслуживать установку на земле.
- 4) Низкий уровень шума ≈ 30 дБ
- 5) Различный красивый внешний вид.

Основным недостатком является то, что энергия ветра используется не в полной мере из-за низкой скорости вращения ротора.

Устройство в виде горизонтальных ветрогенераторов (крыльчатые)

Различные модификации этих установок варьируются от одной до трех лопастей и более. Благодаря этому эффективность работы выше, чем у вертикальных ветрогенераторов.

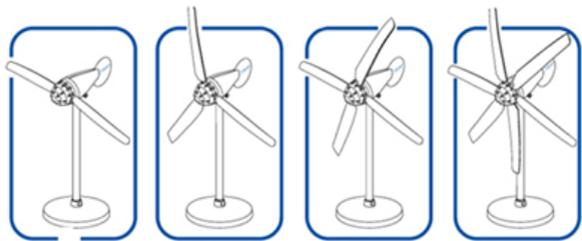


Рисунок 8 – Виды горизонтальных ветрогенераторов

Недостатком ветряных турбин является то, что они зависят от направления ветрового потока. Скорость вращения ветряка снижается при постоянном подстраивании к направлению ветрового потока, что понижает производительность.

1) Однолопастные и двухлопастные ветряки. Устройства с высокой скоростью двигателя. Благодаря небольшому весу и габаритам просты в монтаже.

2) Трехлопастный ветрогенератор, генерирующий до 7 МВт, распространен на рынке.

3) Многолопастные устройства, используются в насосах для воды, число лопастей может составлять до 50 лопастей.

Чаще на рынке стали встречаться гибридные ветрогенераторы, отличающиеся своей конструкцией от классической.

1) Ветровой генератор в виде парусника

Конструкция в виде тарелки под давлением воздуха приводит в действие поршни, которые приводят в действие гидравлическую систему. В результате физическая энергия преобразуется в электрическую.



Рисунок 9 – Ветрогенератор по типу парусника

Во время работы устройство не издает никакого шума. Показатели мощности высокие. Легка в управлении.

2) Устройство в виде летающего ветрогенератор-крыла применяют без мачты, ветрогенератора, ротора и лопастей. Это и является его преимуществом (высокая стоимость и сложность при монтаже мачт, влияние нестабильности силы ветрового потока).



Рисунок 10 – Летающий ветрогенератор-крыло

Летающий ветрогенератор-крыло запускают на 550 метров в высоту. Выработка электроэнергии составляет 1 мВт в год. Производят «крыло» в компании Makani Power. [12]

Эффективность работы ветрогенераторов

Коэффициент полезного действия для вертикального и горизонтального ветряных турбин имеют примерно одинаковое значение. Для вертикальных ветряков это 20–30 %, для горизонтальных установок 25–35 %.

Выводы

Ветроэлектростанции являются хорошим вариантом решения проблемы снабжения электричеством отдаленных регионов. При профессиональном подходе и использовании оптимально правильного набора оборудования можно создать как небольшие электростанции, которые способны обеспечивать энергоснабжением отдельные здания, так и крупных установок – для населенных пунктов.

Возможности выработки электроэнергии без ущерба для окружающей среды региона следует уделять приоритетное внимание, и ветроэнергетика на сегодняшний день является успешным решением этой проблем. [2]



Рисунок 11 – Зависимость мощности от скорости ветра

Эффективность работы ветрогенераторов (коэффициент полезного действия) зависит от вида ветровых турбин и скорости ветрового потока. Производители повышают КПД вертикальных ветряных турбин до 15 %, меняя подшипники постоянными неодимовыми магнитами. Это приводит к высокой стоимости конструкции (при этом эффективность повышается незначительно всего на 3–5 %).

Оба типа не отличаются по сроку службы. В среднем срок службы рассчитан на 15–25 лет. Быстрее всего изнашиваются лопасти и подшипниковый узел. Срок эксплуатации определяется качеством обслуживания.

Будущее принадлежит ветроэнергетике. Во времена нехватки сырья и серьезных проблем энергетической политики теперь всем ясно: энергия будущего производится в основном за счет ветра. Новые технологии и инновации показывают, что мы только в начале пути использования энергии ветра.

Ветроэнергетика в настоящее время, выступая как источник электрической энергии, помогает многим странам решать проблемы энергетической безопасности и охраны окружающей среды.

Энергоэффективность ветроэнергетики важна по следующим причинам:

- отсутствие вредных выбросов;
- неисчерпаемость энергетического ресурса;
- широкий ассортимент на рынке ветроэнергетических устройств;
- конкурентоспособная стоимость на электроэнергию;
- короткие сроки установки (строительства) ветровых электростанций с необходимой нагрузкой и адаптацией к местному климату;
- обеспечение энергоснабжением потребителей в отдаленных регионах.

В республике Казахстан разработана Национальная Программа развития ветроэнергетики. Хорошие перспективы на развитие ветроэнергетики

определяет климатическая территория (у 10 % территории нашей страны среднегодовая скорость ветра составляет 6 м/с и выше).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ветряные электростанции [Текст]. [Electronic resource]: – https://electric-220.ru/news/vetrjanye_ehlektrostancii/2019-08-27-1737

2 Особенности ветроэнергетических установок: достоинства и недостатки оборудования [Текст]. [Electronic resource]: – <https://energo.house/veter/vetroenergeticheskie-ustanovki.html>

3 Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире [Текст]. [Electronic resource]: – <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-2-2-1>

4 Ветряные электростанции [Текст]. [Electronic resource]: – https://electric-220.ru/news/vetrjanye_ehlektrostancii/2019-08-27-1737

5 Различные виды и типы ветрогенераторов [Текст] // [Electronic resource]: – <https://altenergiya.ru/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

6 Основные виды ветрогенераторов: вертикальные, горизонтальные [Текст]. [Electronic resource]: – <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontálne.html?ysclid=lf12f71slm543542662>

7 **Безруких, П. П., Безруких, П. П. (мл.), Грибков, С. В.** Ветроэнергетика : Справочное и методическое издание / Под общей редакцией П. П. Безруких. – М. : «ИнтехэнергоИздат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с. (с. 110). [Текст] // [Electronic resource]: – https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v.-z-lib.org_.pdf

8 Быстроходность ветрогенераторов. [Текст] // <https://thepresentation.ru/img/tmb/1/68089/ba7b969b5866c814c284418a6ee27b83-800x.jpg>

9 Виды ветрогенераторов : плюсы и минусы, производители устройств и необычные конструкции. [Текст] // [Electronic resource]: – <https://energyuuu.go.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

10 Вертикальный ветрогенератор 2 кВт FalconEuro, российский – цена от производителя – доставка по РФ. [Текст] // [Electronic resource]: – <https://proinstrument-shop.ru/products/vertikalnyj-vetrogenerator-2-kvt>

11 Yingwei Wang, Yufeng Guo, Dongrui Zhang. Optimal ancillary control for frequency regulation of wind turbine generator based on improved fatigue load sensitivity // International Journal of Electrical Power & Energy Systems 17 November 2021 [Текст] // [Electronic resource]: – <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-electrical-power-and-energy-systems>

12 13 years of Makani airborne wind energy knowledge available open source электростанции [Текст]. [Electronic resource]: – <https://www.tudelft.nl/en/2020/lr/13-years-of-makani-airborne-wind-energy-knowledge-available-open-source>

REFERENCES

1 Vetryanye elektrostantsii [Wind farms] [Text]. [Electronic resource]: – https://electric-220.ru/news/vetrjanye_ehlektrostancii/2019-08-27-1737

2 Osobennosti vetroenergeticheskikh ustanovok: dostoinstva i nedostatki oborudovaniya [Features of wind power plants: advantages and disadvantages of equipment] [Text]. [Electronic resource]: – <https://energo.house/veter/vetroenergeticheskie-ustanovki.html>

3 Elektroenergetika i ohrana okruzhayushchey sredy. Funktsionirovanie energetiki v sovremennom mire [Electric power industry and environmental protection. Functioning of energy in the modern world] [Текст]. [Electronic resource]: – <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-2/2-2-1>

4 Vetryanye elektrostantsii [Wind farms] [Text]. [Electronic resource]: – https://electric-220.ru/news/vetrjanye_ehlektrostancii/2019-08-27-1737

5 Razlichnye vidy i tipy vetrogeneratorov [Various types and types of wind turbines] [Text] // [Electronic resource]: – <https://altenergiya.ru/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

6 Osnovnye vidy vetrogeneratorov: vertikal'nye, gorizonta'nye [The main types of wind turbines: vertical, horizontal] [Text]. [Electronic resource]: – <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontalnye.html?ysclid=lf12f71slm543542662>

7 **Bezrukih, P. P., Bezrukih, P. P. (ml.), Gribkov, S. V.** Vetroenergetika : Spravochnoe i metodicheskoe izdanie [Wind Energy: Reference Methodological Edition]/ Pod obshchey redaktsiey P.P. Bezrukih. – Moscow : «IntekhenergoIzdat», «Теплоэнергетик», 2014. – 304 s. (s. 110). [Text] // [Electronic resource]: – https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v.-z-lib.org_.pdf

8 Bystrohodnost' vetrogeneratorov. [The speed of wind turbines], [Text] // [Electronic resource]: – <https://the.presentation.ru/img/tmb/1/68089/ba7b969b5866c814c284418a6ee27b83-800x.jpg>

9 Vidy vetrogeneratorov: plyusy i minusy, proizvoditeli ustrojstv i neobychnye konstrukcii [Types of wind turbines: pros and cons, device manufacturers and unusual designs]. [Text] // [Electronic resource]: – <https://eneruuuugo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

10 Vertikal'nyj vetrogenerator 2 kVt Falcon Euro, rossijskij – cena ot proizvoditelya – dostavka po RF [Vertical wind generator 2 kW Falcon Euro, Russian – price from the manufacturer – delivery across the Russian Federation]. [Text] // [Electronic resource]: – <https://proinstrument-shop.ru/products/vertikalnyj-vetrogenerator-2-kvt>

11 Yingwei Wang, Yufeng Guo, Dongrui Zhang. Optimal ancillary control for frequency regulation of wind turbine generator based on improved fatigue load sensitivity // International Journal of Electrical Power & Energy Systems 17 November 2021 [Text] // [Electronic resource]: – <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-electrical-power-and-energy-systems>

12 13 years of Makani airborne wind energy knowledge available open source электростанции [Text]. [Electronic resource]: – <https://www.tudelft.nl/en/2020/lr/13-years-of-makani-airborne-wind-energy-knowledge-available-open-source>

Принято к изданию 18.09.23.

А. А. Бектасова¹, А. К. Ашимова², К. Б. Шакиенов³, Е. А. Сарсенбаев⁴

^{1,2,3,4}Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЖЕЛ ЭНЕРГЕТИКАСЫ ЖАБДЫҚТАРЫН ДАМУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Бұл мақалада Қазақстанның жаңартылатын энергетикасын дамыту перспективалары ұсынылған. Жел энергетикасы жабдықтарына талдау жүргізілді. Жел қондырғыларының түрлері қарастырылды (пышақтар саны бойынша, номиналды қуаты бойынша, ось бағыты бойынша, орналасқан жері бойынша). Айналу осьтері бар жел диірмендерінің арасындағы айырмашылықтар көрсетілген: көлденең және тік. Көлденең қондырғылар тік қондырғыларға қарағанда жел бағытына бағытталуы керек екендігі атап өтілді. Сондай-ақ, көлденең жел турбиналары үшін жоғары діңгек міндетті болып табылады, өйткені жел ағындары ротордың биіктігінде қарқынды болады. Бұл үшін тік қондырғылар аз қажет. Жұмыс тиімділігі тік құрылғыларға қарағанда көлденең құрылғыларда жоғары. Мақалада жел генераторларының түрлері қарастырылады. Конструкциялар, олардың дизайн ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталған. Құрылғылардың жұмыс істеу принциптері, қолдану саласы қарастырылған. Тік және көлденең жел генераторлары үшін пайдалы әсер коэффициенті

қарастырылады. Тік және қолденең жел турбиналарының тиімділігі шамамен бірдей мәнге ие. Тік жел турбиналары үшін бұл 20–30 %, қолденең қондырғылар үшін 25–35 %.

Мақалада атап өтілгендей, энергия көзі ретінде әрекет ететін жел энергетикасына деген қызығушылық елдерге энергетикалық қауіпсіздік пен экология мәселелерін шешуге көмектеседі

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия, жел генераторлары, жел доңгелектері, жел турбиналары, қалақ

*A. A. Bektassova¹, A. K. Ashimova², K. B. Shakenov³, Ye. A. Sarsenbayev⁴

^{1,2,3,4}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Accepted for publication on 18.09.23

DEVELOPMENT PROSPECTS AND ANALYSIS OF WIND POWER EQUIPMENT

This article presents the prospects for the development of renewable energy in Kazakhstan. The analysis of wind power equipment was carried out. The types of wind turbines are considered (by the number of blades, by nominal power, by the direction of the axis, by location). The differences between wind turbines with horizontal and vertical axes of rotation are shown. It is noted that horizontal installations need to be oriented in the direction of the wind, unlike vertical ones. Also, for horizontal wind turbines, a high mast is a prerequisite, since wind flows are more intense at the height of the rotor. Vertical installations need this less. Overall, the efficiency of horizontal devices is higher than that of vertical ones. The article discusses the types of wind turbines. The constructions, their design features, advantages and disadvantages are described. The principles of operation of the devices, the scope of application are considered. The efficiency coefficient for vertical and horizontal wind generators is considered. The efficiency for vertical and horizontal wind turbines have approximately the same value. For vertical wind turbines, this is 20–30 %, for horizontal installations 25–35 %.

It is noted in the article that the interest in wind energy, acting as an energy source, helps countries to solve issues of energy security and ecology

Keywords: renewable energy, wind generators, wind wheels, wind turbines, blade

МРНТИ 44.09.35

<https://doi.org/10.48081/ZHPK5502>

***Ж. Ш. Бермагамбетов¹, А. И. Озаркова²,
А. Б. Утегулов³, И. В. Кошкин⁴**

^{1,2,4}Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова, Республика Казахстан, г. Костанай;

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

e-mail: ogarkova.anastasia@mail.ru

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье разработана система дополнительной электрогенерации собственных нужд котельной малой и средней мощности с использованием теплофикационных турбин и генераторов при утилизации вторичной теплоты на примере установок Костанайской области.

Исследованы конструкции паросиловых установок, их технические и технико-экономические характеристики. В результате исследования выявлены основные причины и потенциальная эффективность внедрения системы турбина – генератор при использовании ее от источника сбросного тепла. Внедрение данной системы электрогенерации позволит сократить потребность котельных малой и средней мощности в электроснабжении собственных нужд с выдачей излишков электроэнергии в централизованную электросеть, снизить зависимость от энергетического топлива, а также обеспечить прирост энергетических мощностей.

Рассмотрены вопросы энергоэффективности система турбина-генератор. Наблюдается незначительное снижение КПД системы турбогенерации вследствие повышения температуры окружающего наружного воздуха (1-2 %), а также расчетный удельный расход условного топлива, который составил 0,01-0,05 кг/кВт·ч при изменении температуры внешней среды на 5-7 °С. Доказано, что система эффективна и может вырабатывать достаточно энергии в период эксплуатации, что позволит покрыть расходы потребления

электроэнергии собственных нужд котельной, сократит нагрузку на климат, а также обеспечит надежность и бесперебойность электроснабжения.

Ключевые слова: вторичные энергетические ресурсы, котел, паровая турбина, турбогенератор, механическая энергия, электрическая энергия, котельная.

Введение

В настоящее время становится не выгодно производить тепло (отапливать) и транспортировать только горячую воду до потребителя. В данное время жилищно-коммунальными хозяйствами установлены требования о целесообразности комбинированного производства электрической и тепловой энергии на отопительных центрах, располагаемых в непосредственной близости от потребителя для собственных нужд и на продажу [1, 2]. Предполагается, что преобразования функции генерации тепла и электричества повышает коэффициент полезного действия в целом до 80 %: уменьшаются затраты на расход энергии, увеличивается срок службы отдельных элементов оборудования, сокращения простоя за счет надежного резервирования, снижение износа оборудования и перерасход энергии [3].

Целью исследования является повышение эффективности котельных установок малой и средней мощности путем модернизации объекта с применением турбогенератора для выработки дополнительной электроэнергии при использовании вторичного отработанного пара.

Реализация данной цели также приводит к блокировке сброса теплоты в окружающую среду, к которым на котельных относятся оборотная вода охлаждения конденсатора, продукты сгорания, и некоторые контуры охлаждения технологических потоков. Как следствие, это снижает локальное загрязнение климата Костанайской области, и также повышает эффективность использования котельной в вопросах выработки тепловой и электрической энергии.

Материалы и методы

В Костанайской области большая часть котельных малой и средней мощности до 5МВт, работает на газе, угле и мазуте, используя паровые котлы.

Исследования проводились на котельной города Костанай с паровым котлом типа ГМ-50/14. Данный котел работает на природном газе и мазуте как резервный источник энергии в случаях отсутствия природного газа по тем или иным причинам. Котел имеет производительность пара 50 т/час, рабочее давление в барабане – 14 атм, за главной паровой задвижкой соответственно 14 атм. Температура насыщенного пара при водяном объеме 30,0 м³ и паровом объеме 8,2 м³ около 215 0С. Тип топки камерная, объем топки 133 м³,

радиационные поверхности нагрева закрывают все стены топочной камеры, образуя фронтальной, задней и два боковых экрана площадью радиационной поверхности экранов 158 м². В среднем природного газа расходуется порядка 2000–2300 м³/час. Излишки пара, которые сконденсировались в жидкость, направляются снова в паровой котел, для повторного нагрева с предварительным удалением кислорода и подобных реагентов ржавления паровой системы.

В различных научных трудах производится анализ и решения по энергоэффективности тепловых установок, а также устройств когенерации. Методология и результаты различные. Так, авторами [4] предлагаются экспериментально-расчетные исследования энергетических и экологических характеристик в зависимости от природных условий региона, котла Firematic 60, работающего на твердом топливе. В работе [5] представлены результаты испытаний основного промышленного образца системы накопления энергии (ЭСС-10-1200-400), работающих непосредственно в комплексе с газопоршневыми генераторами (ГЭГ) в составе опытной энергосистемы. Авторами исследований [6] показаны и доказаны полезность методов и путей повышения энергоэффективности на тепловых установках, путем использования абсорбционных термокомпрессоров. В научных работах [7, 8] представлены методы повышения эффективности работы промышленных электростанций за счет использования нового компьютерного программного обеспечения, при котором производится подробный анализ критериев нагрузки котла по минимуму полной стоимостной характеристики пара. Интересное решение предлагается в [9], где доказана эффективность метода сжигания избыточного порошкообразного полукокса, определенного в критическом доле эквиваленте топлива. Технологическое практическое решение с использованием измененной конструкции и внедрением многокамерного сжигания в дымовых водогрейных котлах, предлагается авторами [10]. По сравнению с гипотезами и идеями, которые были подробно проанализированы, принципиальной особенностью предлагаемого решения является использованием системного подхода для связи централизованной и распределенной генерации, а также отработанной вторичной энергии пара от котла, для повышения энергоэффективности котельных малой и средней мощности. При учитываются как внутренние свойства устройств котельной, так и характер взаимодействия с внешней окружающей средой. Особенно важным является факт, что котельные малой и средней мощности при таком решении становятся автономными в вопросах электроснабжения, обеспечивая системы собственных нужд (электродвигатели тягодутьевых агрегатов, электродвигатели насосов, системы вентиляции, освещения, части силовой нагрузки и др.) собственной «зеленой» электроэнергией.

Результаты и обсуждение

Для первичного анализа критериев энергоэффективности были исследованы теплоэнергетические показатели котельной на примере использования котла ГМ-50/14: расходы топлива (газа) в течение фиксированного отрезка времени. Результаты исследований показаны на рисунке 1.

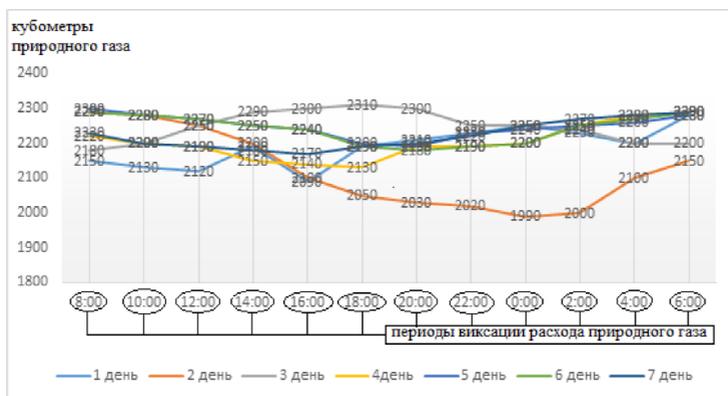


Рисунок 1 – Расход природного газа в паровом котле

В схеме производства тепла после нагрева теплоносителя (воды) парового котла, пар поступает на гребенки и пароперегреватель. После этого, в технологической схеме внедряется турбогенератор, который вырабатывает необходимое количество энергии для погашения электроэнергетических затрат потребляемой котельной.

Синтез технологической схемы при ее разработке ограничили определением состава элементов и структурой, где для реализации каждой стадии технологического процесса подбирается один или несколько технических элементов. После определения состава технологических элементов была установлена связь между ними по потокам вещества и энергии, а также определены связи с внешними системами, в том числе с окружающей средой.

Электрическая энергия вырабатывается в генераторе, приводимый в движение турбиной, при чем часть энергии расходуется на привод компрессора. Путь пара заканчивается на подогреве сетевой воды. Пар отдавая тепло в теплообменнике сетевой воде, возвращается обратно в котел, для последующего повторного нагрева теплоносителя. Паровой котел выполнен как вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией воды.

Подача газа или мазута (резервного топлива) осуществляется с помощью газомазутной горелки. Расположение горелок предусмотрено на боковых стенках топки в количестве двух горелок на каждой стенке с мазутными форсунками механического распыления. подача воздуха для горения топлива принудительная, у каждой горелки предусмотрена поворотная регулирующая заслонка воздуха. Разработанная структурная схема системы когенерации типовой котельной представлена на рисунке 2.

Процесс работы турбины присущ для двух режимов: к соплам свежий пар поступает через регулирующие клапаны и корпус турбины. После термодинамического расширения пара в соплах пар поступает к рабочему колесу в осевом направлении. Далее энергия пара преобразуется в кинетическую энергию, вращая ротор генератора.

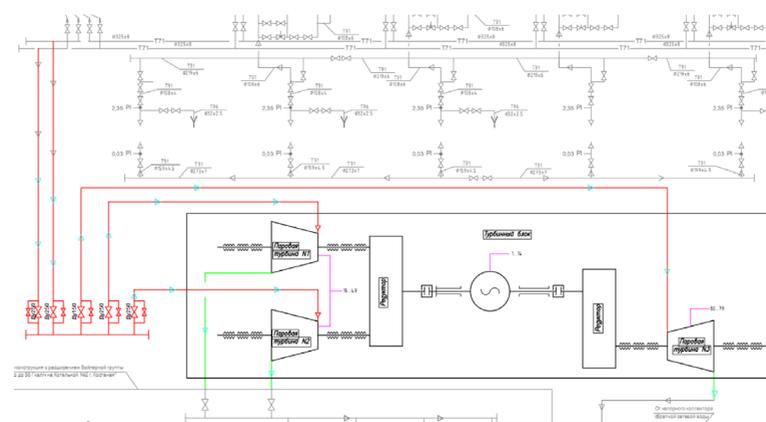


Рисунок 2 – Система когенерации с турбомашинной для отбора мощности к системе собственных нужд котельной

Так за счет изменения направления потока струи пара, на рабочих лопатках, кинетическая энергия преобразуется в механическую. Отработанный пар покидает турбину через выхлопной патрубок.

Общая схема образует два контура: один контур поступает от парового котла через гребенку и пароперегревателя в турбину. После турбины пар обладая большой термической энергией поступает на теплообменники. Таких теплообменников установлено не в единичном количестве, теплообменников ставят несколько штук для лучшего технологического процесса. Второй контур холодной воды, к которому пар отдает свое тепло, поступает в водогрейные котлы, там доводят до оптимальной температуры и давления.

Параметры задает диспетчер, и уже готовую воду, очищенную от всех вредных элементов, выводят в город по теплотрассе.

Внедрение системы электрической генерации в тепловую схему котельной производилась путем подробного анализа электромагнитных, термодинамических и механические свойства системы.

Расчет энтальпий объемов воздуха и продуктов сгорания производим при температуре от 100 до 1000 °С через каждые 100 °С. Затем подсчитываем энтальпии продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха за газоходами всех поверхностей нагрева. Результаты расчета энтальпий воздуха и продуктов сгорания представлены на рисунке 3.

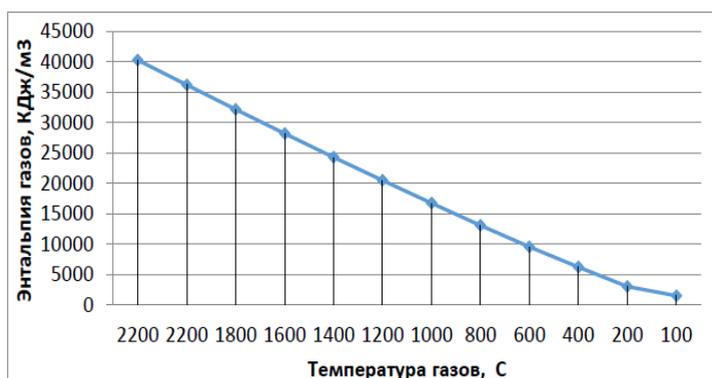


Рисунок 3 – Зависимости энтальпий воздуха и продуктов сгорания в газоходе «топка-фестон»

После расчетов энтальпий объемов производился подсчет потерь тепла с недожогом в 0,5 %, и уходящими газами, которые составили 6,6 %. При этом потеря тепла от наружного охлаждения котла составило 0,91 %. В итоге, КПД водогрейного котла «брутто» для выбора системы котел-турбогенератор, находят по методу обратного баланса, и составили [4]:

$$\eta_{\text{вк}} = 100 - (6,6 + 0,5 + 0,91) = 91,99 \% \quad (1)$$

Как результат показано, что котлы с производительностью пара в 50 тон час, достаточны для вращения турбогенератора и производства электричества, потребляемой котельной во время сезона отопления.

Турбогенератор по паспорту обладает следующими техническими характеристиками: номинальной мощностью: 8863 кВА, коэффициент мощности 0,8, напряжение: 10500 +/- 5 %В, ток: 487 А, частота: 50 +/- 2 % Гц,

скорость вращения, 1500 об/мин, способ охлаждения: воздух. Температура воздуха, 40 °С, подключение фазы статора: Star3, количество фаз обмотки статора: 3, напряжение поля возбуждения: 125 В, ток возбуждения: 522 А, чередование фаз: U-V-W, направление вращения: по часовой стрелке от приводного конца, степень защиты: IP44, метод охлаждения: IC31, количество выводов статора: 6.

Принцип соединения внедренного турбогенератора одновальной системы показан на рисунке 4.

Температура подшипников генератора стороны А и В составляет от 45 до 55 °С в среднем за сутки. Температура обмоток от 45 до 65 °С, зная температуру необходимо для контроля состояния обмотки генератора. Соответственно температура воздуха (генератора) за теплообменником около 20 – 23 °С, температура воздуха (генератора) перед теплообменником 54 – 60 0С. Присоединение воздухообменников показано на рисунке 5.



Рисунок 5 – Генератор вид генератора и турбины на воздухозаборник

Эластичная муфта соединена с возбудителем соосна и является продолжением механизма турбина-генератор-возбудитель. Резервные возбудители постоянного тока, ротор приводятся своим трехфазным переменным током электродвигателя, и предусмотренный при установке в схеме генератора, как резерв.

Так же в турбогенераторе была рассчитана и выбрана турбина с противодавлением марки TST-100-G-P-640 и приводящим механизмом привода центробежного двустороннего насоса входа 1Д-1250-125, с обеспечением паром требуемых параметров на выходе из турбины. Турбина изготавливается в исполнении УХЛ 4.1, для условий использования в закрытых помещениях при температуре окружающей среды от 5 до 50 0С. Турбина обладает двумя режимами работы: TWIN 4766050 и MONO 4345118. При подсчете количества тепла, отпускаемого потребителю, условно принято, что 5% выработанного тепла расходуется на собственные нужды котельных,

работающих на основном топливе – газе, при резервном – мазуте. Турбина обладает номинальной мощностью на выходном валу турбины (муфте) 7252 кВт, мощность на клеммах около 7000 кВт, номинальная скорость вращения выходного вала 1500 об/мин, номинальная температура пара перед стопорным клапаном турбины 223 °С.

Турбина в режиме TWIN 4766050 – рассматриваемая машина является одноступенчатой активной турбиной, и предназначена как зимний период работы турбогенератора.

Турбина в режиме MONO 4345118 – рассматриваемая машина является одноступенчатой активной турбиной и работает в летний период, поскольку нет необходимости подготавливать воду в теплотрассу.

Давление свежего пара составляет в пределах: 11,5–14,4 бар, рабочее же давление около 14,1 бар, номинальный расход пара 0,6–1,35 бар, номинальное избыточное давление пара на выходе из турбины 1,6 бар, Давление отработанного пара составляет в пределах: 0,6–1,35 бар. Рабочий диапазон температуры составляет 190–220 °С, температура отработанного пара 171 °С, критическая скорость вращения: около 1665 об/мин,

Произведен анализ водных ресурсов охлаждения системы, где вода имеет свойство быть буфером тепла между определёнными агрегатами, такими как паровой котел, теплообменник и турбогенератор. На рисунке 6 приведен график, определенный расчетами по формуле (2), который выражает количественно сколько нужно энергии, чтобы нагреть 50 м³ воды в час до определенной температуры.

Транспортировку пара (воды) считают для количественного обобщения энергии потраченной на полезную работу [1,4]:

$$Q = V \cdot (T_2 - T_1) \quad (2)$$

где V – объем, литры;

Q – тепловая энергия, ккал;

T_2 – температура начальная, °С;

T_1 – температура конечная, °С;

На диаграмме рассмотрено три дня в рабочем режиме турбины генератора в режиме конвертации тепловой энергии в электрическую с последующей отдачей в сеть собственных нужд.

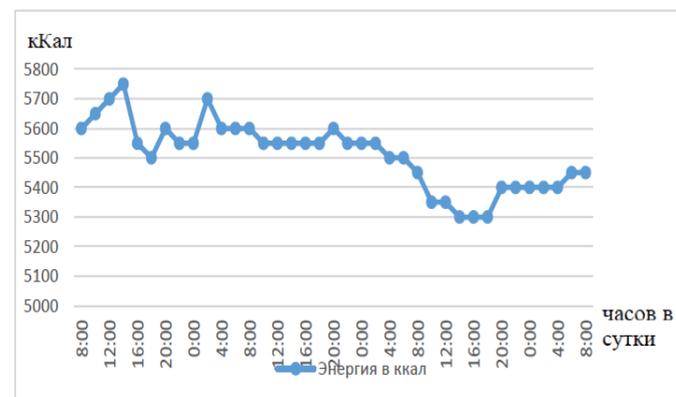


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости изменения тепловой энергии в течение суток

Котельная вырабатывает электроэнергию в среднем 3800 кВА·час. Показания фиксируются системой учета каждый час, так же фиксируется минимальная частота вращения ротора приборами турбины,

На рисунке 7 показана зависимость изменения вырабатываемой электроэнергии в зависимости от регулирования частоты вращения ротора генератора от первичных регуляторов системы (паровые регуляторы).

Этот график обобщает суточную выработанную энергию от внедренного турбогенератора в уже существующую схему. На графике видно, как распределяется энергия и идет выработка электрической энергии в сеть, что позволяет проследить за качеством энергии и вносить коррективы в первичные и вторичные средства регулирования мощности.

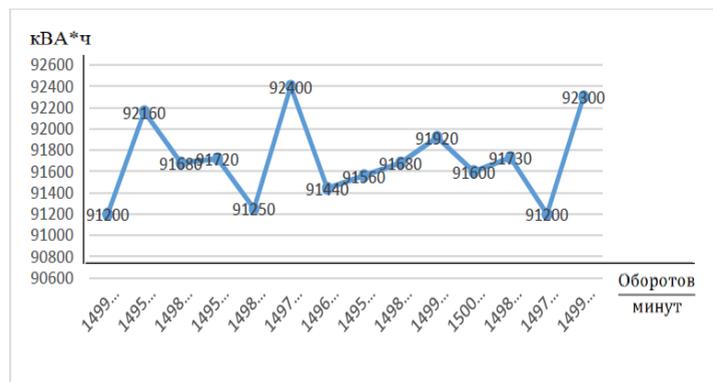


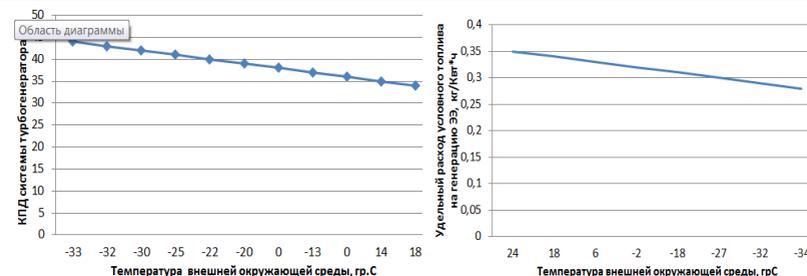
Рисунок 7 – Зависимость выработки электроэнергии от частоты вращения вала генератора

Эти показания нужно отслеживать постоянно, для своевременного вмешательства в процесс работы генератора.

В целом предлагаемая система когенерации котельных имеет отличия от традиционных ТЭЦ, где изначально было задумано по проекту выработка электричества и тепла. В котельных малой и средней мощности с исследуемым узлом когенерации контур охлаждающей воды не поступает к градирне, а является горячей водой для города Костанай. Пар от паровых котлов необходим для нагрева холодной воды, с последующем ее нагреве до нужной температуры и транспортировки в город по теплотрассе. Элемент турбогенератор – внедряется между паровым котлом и теплообменником, и тем самым используя пар парового котла не только для собственных нужд, но и для выработки электричества собственных нужд. Этих мероприятий достаточно для оценки эффективности внедряемых мероприятий с точки зрения экономических показателей, энергетических, а также изменения климата.

Для анализа энергоэффективности были исследованы два основных показателя системы: КПД газотурбинной системы и расход условного топлива на генерацию электроэнергии. Результаты анализа показаны на рисунках 8 и 9.

Внедрение системы когенерации в производственный процесс котельных малой и средней мощности за счет использования вторичных газов котельных агрегатов, позволяет максимально снизить расходы и увеличить доход предприятия, а также увеличит экологическую безопасность за счет снижения влияния тепловых нагрузок на окружающую среду.



Заключение

В проведенном исследовании были разработаны новые технические решения по внедрению системы электрогенерации в котельных малой и средней мощности, в которых первичным источником энергии является отработанный пар. На примере котельной города Костанай был проведен синтез технологической схемы, для эффективного энергоснабжения сформированы две блочных установки паровых турбин, а также генератор электрической мощностью 5 МВт. Пар предусмотрен поступлением в систему от паровых коллекторов котельной с параметрами в $P=1,4$ МПа и температурой $t=190-1950$ С. Параметры отработанного пара от турбин варьируются в диапазоне $P=0,05...0,15$ МПа, и температур $t=80...113$ °С.

Предусмотрен отвод отработанного пара от турбин в бойлерную группу и деаэрактор.

Рассчитаны показатели энергоэффективности внедряемой системы, где наблюдается незначительное снижение КПД системы турбогенерации вследствие повышения температуры окружающего наружного воздуха (1–2 %), а также расчетный удельный расход условного топлива, который составил 0,01-0,05 кг/кВт·ч при изменении температуры внешней среды на 5-7 °С. Все это позволяет управлять показателями внедряемого оборудования в условиях меняющейся тепловой нагрузки и температуры окружающей среды, а также проводить мероприятия по оптимизации режимов работы системы для получения максимальной выработки электрической энергии путем использования вторичной энергии отработанных газов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шатров, М. Г. Теплотехника: Учебник / М.Г. Шатров. – М. : Академия, 2018. – 320 с.

2 **Остриков, А. Н.** Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов : Учебное пособие / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко и др. – СПб. : Лань, 2018. – 440 с.

3 **Durmuş, Kaya., Fatma, Çanka Kılıç., Hasan, Hüseyin Öztürk.** Energy Management and Energy Efficiency in Industry / Kaya Durmuş. Publisher: Springer Cham, 2021. – 312 P., ISBN978-3-030-25995-2

4 **Любов, В. К., Попов, А. И., Попова, Е. И., Чернов, А. А.** Эффективность сжигания торфа в котле малой мощности: анализ запасов торфа в Архангельской области и эффективность его энергетического использования / Материалы Международного симпозиума по устойчивой энергетике и энергетике 2021. Конспект лекций по машиностроению. Спрингер, Сингапур SUSE 2021.

5 **Боднар, Л. А., Степанов, Д. В., Довгаль, А. Н.** Экспериментальные исследования энергетических и экологических показателей работы маломощного комбинированного газогенератора и водогрейного котла / Л. А. Боднар. – J Eng Phys Thermophy 88, 2015. – стр. 962–967. <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1271-x>

6 **Янков, В. С., Хоштария, А. Г.** Применение абсорбционных термокомпрессоров для утилизации низкопотенциальных вторичных теплоэнергетических ресурсов. – Chem Petrol Eng 19, 1983, стр. 519–521. <https://doi.org/10.1007/BF01148995>

7 **Варганова, А. В., Малафеев, А. В.** Энергоэффективное распределение тепла между котлоагрегатами промышленных электростанций с использованием ЭВМ / А.В. Варганова.- Power Technol Eng 52 , 2018. – стр. 74–78. [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1007/s10749-018-0912-6>

8 **Бейене, А., Котари, Д., Суббарао, П.** Выработка энергии. Под редакцией В: Гроте, К. Х., Хефази, Х. Справочник Springer по машиностроению.- издательство Чам, 2021. – 622 с. [Electronic resource]: – https://doi.org/10.1007/978-3-030-47035-7_27

9 **Wang, C., Feng, Q., Jin, L.** et al. Experimental and Numerical Study on Co-combustion Behaviors and NOx Emission Characteristics of Semi-coke and Coal in a Tangentially Fired Utility Boiler. J. Therm. Journal of Thermal Science Sci. 30, 1116–1131 (2021). [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1007/s11630-021-1405-8>

10 **Demchenko, V., Dolinskiy, A., Sigal, A. I.** The Organization of Internal Recirculation of Smoke Gases in Reversible Water-Cooled Chambers of Combustion of Boilers for their Modernization. In: Syred, N., Khalatov, A. (eds) Advanced Combustion and Aerothermal Technologies. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 2007. – P 299–315. [Electronic resource]: – https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6515-6_23

REFERENCES

1 **Shatrov, M. G.** Teplotekhnika [Thermal engineering] : Uchebnik / M.G. Shatrov. – Moscow : Akademiya, 2018. – 320 p.

2 **Ostrikov, A. N.** Processy i apparaty. Raschet i proektirovanie apparatov dlya teplovyh i teplomassoobmennyh processov [Processes and devices. Calculation and design of devices for thermal and heat and mass transfer processes] : Uchebnoe posobie / A. N. Ostrikov, V. N. Vasilenko i dr. - Spb. : Lan', 2018. – 440 p.

3 **Durmuş, Kaya., Fatma, Çanka Kılıç., Hasan, Hüseyin Öztürk.** Energomenedzhment i energoeffektivnost' v promyshlennosti [Energy Management and Energy Efficiency in Industry] / Kaya Durmuş. Publisher : Springer Cham, 2021. – 312 p., ISBN978-3-030-25995-2

4 **Lyubov, V. K., Popov, A. I., Popova, E. I., Chernov, A. A.** Effektivnost' szhiganiya torfa v kotle maloj moshchnosti: analiz zapasov torfa v Arhangel'skoj oblasti i effektivnost' ego energeticheskogo ispol'zovaniya [Efficiency of peat combustion in a low-power boiler: analysis of peat reserves in the Arkhangelsk region and the efficiency of its energy use] / Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma po ustojchivoj energetike i energetike 2021. Konspekt lekcij po mashinostroeniyu. Springer, Singapur SUSE 2021.

5 **Bodnar, L. A., Stepanov, D. V., Dovgal', A. N.** Eksperimental'nye issledovaniya energeticheskikh i ekologicheskikh pokazatelej raboty malomoshchnogo kombinirovannogo gazogeneratora i vodogrejnogo kotla [Experimental studies of energy and environmental performance indicators of a low-power combined gas generator and hot water boiler] / L. A. Bodnar. – J Eng Phys Thermophy 88, 2015. – pp. 962–967. [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1271-x>

6 **Yankov, V.S., Hoshtariya, A. G.** Primenenie absorbcionnyh termokompressorov dlya utilizacii nizkopotencial'nyh vtorichnyh teploenergeticheskikh resursov [Application of absorption thermocompressors for utilization of low-potential secondary heat and power resources]. – Chem Petrol Eng 19, 1983, P. 519–521. [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1007/BF01148995>

7 **Varganova, A. V., Malafeev, A. V.** Energoeffektivnoe raspredelenie tepla mezhdru kotloagregatami promyshlennyh elektrostancij s ispol'zovaniem EVM [Energy-efficient heat distribution between boiler units of industrial power plants using a computer] / A.V. Varganova.- Power Technol Eng 52 , 2018. – P. 74–78. [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1007/s10749-018-0912-6>

8 **Bejene, A., Kotari, D., Subbarao, P.** Vyrabotka energii [Energy production] / Pod redakciej V : Grote, K. H., Hefazi, H. Spravochnik Springer po mashinostroeniyu.- izdatel'stvo CHam, 2021. – 622 P. [Electronic resource]: – https://doi.org/10.1007/978-3-030-47035-7_27

9 Wang, C., Feng, Q., Jin, L. et al. Eksperimental'noe i chislennoe issledovanie povedeniya sovместного goreniya i harakteristik vybrosov NOx polukoksa i uglja v kotle s tangencial'noj topkoj [Experimental and Numerical Study on Co-combustion Behaviors and NOx Emission Characteristics of Semi-coke and Coal in a Tangentially Fired Utility Boiler] / J. Therm. Journal of Thermal Science Sci. 30, 1116–1131 (2021). [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1007/s11630-021-1405-8>

10 Demchenko, V., Dolinskiy, A., Sigal, A.I. Organizaciya vnutrennej recirkulyacii dymovyyh gazov v reversivnyh vodoohlazhdaemykh kamerah sgoraniya kotlov pri ih modernizacii [The Organization of Internal Recirculation of Smoke Gases in Reversible Water-Cooled Chambers of Combustion of Boilers for their Modernization] / In: Syred, N., Khalatov, A. (eds) Advanced Combustion and Aerothermal Technologies. NATO Science for Peace and Security Series C : Environmental Security. Springer, Dordrecht, 2007. – P. 299–315. [Electronic resource]: – https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6515-6_23

Принято к изданию 18.09.23.

*Ж. Ш. Бермагамбетов¹, А. И. Огаркова², А. Б. Утегулов³, И. В. Кошкин⁴

^{1,2,4}Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ТӨМЕН ЖӘНЕ ОРТА ЭЛЕКТР ҚАЗАНДЫҚТАРЫНЫҢ МЕНШІК ҚАЖЕТТІЛІГІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ГЕНЕРАЛДЫҚ ЖҮЙЕСІН ЕНГІЗУ

Мақалада Қостанай облысындағы қондырғылар мысалында екінші реттік жылыуды қалпына келтіруде когенерациялық турбиналар мен генераторларды пайдалана отырып, шағын және орта электр қазандығының жеке қажеттіліктері үшін қосымша энергия өндіру жүйесі әзірленді.

Бу электр станцияларының конструкциялары, олардың техникалық және техникалық-экономикалық сипаттамалары зерттелді. Зерттеу нәтижесінде турбиналық-генераторлық жүйені қалдық жылу көзінен пайдалану кезінде енгізудің негізгі себептері

мен потенциалды тиімділігі анықталды. Бұл электр энергиясын өндіру жүйесін енгізу орталықтандырылған электр желісіне артық электр энергиясын беру арқылы шағын және орта қазандықтардың өз қажеттіліктерін қамтамасыз ету қажеттілігін азайтады, энергетикалық отынға тәуелділікті азайтады, энергия қуатын арттыруды қамтамасыз етеді.

Турбиналық-генераторлық жүйенің энергия тиімділігі мәселелері қарастырылады. Сыртқы ауаның қоршаған орта температурасының жоғарылауы (1-2 %), сондай-ақ 0,01-0,05 кг құраған стандартты отынның болжамды үлестік шығыны есебінен турбиналарды генерациялау жүйесінің тиімділігінің шамалы төмендеуі байқалады. /кВт•сағ қоршаған орта температурасының 5-7⁰С өзгеруімен. Жүйе тиімді және жұмыс кезінде жеткілікті энергия өндіре алатыны дәлелденді, бұл қазандықтың жеке қажеттіліктері үшін электр энергиясын тұтыну шығындарын өтейді, климаттық жүктемені азайтады, сенімділік пен үздіксіз электрмен жабдықтауды қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: қайталама энергетикалық ресурстар, қазандық, бу турбинасы, турбогенератор, механикалық энергия, электр энергиясы, қазандық.

*J. Sh. Bermagambetov¹, A. I. Ogarkova², A. B. Utegulov³, I. V. Koshkin⁴

^{1,2,4}Kostanay Regional University named after A. Baitursynov,

Republic of Kazakhstan, Kostanay;

³Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,

Republic of Kazakhstan, Astana

Accepted for publication on 18.09.23

INTRODUCTION OF A GENERATION SYSTEM TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE OWN NEEDS OF BOILER HOUSES OF LOW AND MEDIUM POWER IN KOSTANAY REGION

The article developed a system of additional power generation for own needs of a boiler house of small and medium power using cogeneration turbines and generators in the recovery of secondary heat using the example of installations in the Kostanay region.

The designs of steam power plants, their technical and technical and economic characteristics have been studied. As a result of the study, the main reasons and potential efficiency of the implementation of the turbine-

generator system were identified when using it from a source of waste heat. The introduction of this power generation system will reduce the need for small and medium-sized boiler houses to supply their own needs with the issuance of excess electricity to the centralized power grid, reduce dependence on energy fuel, and ensure an increase in energy capacity.

The issues of energy efficiency of the turbine-generator system are considered. There is a slight decrease in the efficiency of the turbine generation system due to an increase in the temperature of the ambient outside air (1-2%), as well as the estimated specific consumption of reference fuel, which amounted to 0.01-0.05 kg/kW•h with changes in the ambient temperature by 5-7 0C. It has been proven that the system is efficient and can generate enough energy during operation, which will cover the costs of electricity consumption for the boiler house's own needs, reduce the load on the climate, and ensure the reliability and uninterrupted power supply.

Ключевые слова: secondary energy resources, boiler, steam turbine, turbogenerator, mechanical energy, electrical energy, boiler house

SRSTI 66.01.84

<https://doi.org/10.48081/JZWM4981>

***U. K. Zhalmagambetova¹, A. M. Kazambayev²,
N. Zh. Zhuspekova³ E. M. Jussupova**

^{1,2,3}Toraighyrov University, Kazakhstan, Pavlodar

e-mail: ultuara@mail.ru

AUTONOMOUS POWER SUPPLY ON SOLID FUEL AND BIOGAS

The article considers two options for autonomous power supply using both traditional and non-traditional fuels.

The efficiency of using renewable energy sources is described depending on the climate, geographical location and method of energy production.

The relevance of this topic is caused by increasingly high environmental requirements for production. Moreover, decentralization with the use of unconventional sources allows the energy system to be more flexible in an autonomous mode, taking into account the time of day, the intensity of solar, wind and hydropower. The use of renewable energy sources is also possible in combination with solid, liquid and gaseous fuels. Combined systems are very convenient for power supply of small objects. These can be settlements remote from centralized power supply, autonomous industrial facilities, peasant farms, livestock farms.

One of the energy supply options is more suitable for the northern region of the country with a long cold period and the presence of large coal reserves, there is an opportunity for the consumer to receive gas, as well as heat and electric energy when using coal as a feedstock, a kind of local gas network. The second method will ensure the disposal of animal waste and organic waste.

Keywords: alternative energy sources, biogas, gaseous fuel, coal processing, autonomous power supply.

Introduction

To date, alternative energy sources are increasingly being considered as an opportunity to reduce the cost of energy. In world practice, there is a successful experience in improving energy efficiency through the introduction of renewable

energy sources (RES) for energy supply of remote facilities. But with such methods, it is necessary to take into account climatic conditions and the economic feasibility of their use.

So, when choosing the method of production of various types of energy, they are primarily based on the technological justification for optimizing production costs. Kazakhstan has committed to increase the share of alternative energy in the total amount of energy produced from 1 % to 50 % by 2050. But, it is worth noting that the cost of electricity generated, for example, by solar panels, at Astana Solar LLP, in 2018 was 71 tenge per 1 kW/h. Whereas Ekibastuz GRES-1, which runs on coal, is ready to sell its products for 6 tenge per 1 kW/h.

Electricity production using renewable sources in our country in 2017 amounted to 1,2 %. According to the Statistics Committee of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan on renewable energy sources, as of 01.04.2019, 11210. 2 million kWh were produced by hydroelectric power plants in 2017. Hydroelectric power generation is in the first place. In second place is wind energy – 339,840 thousand kWh, in the next place is solar 93,038.8 thousand kWh, and in last place is energy production using biofuels 200 thousand kWh.

The use of alternative sources in the creation of modern sustainable energy systems is a priority. Investments aimed at the development of the «Green Economy» contribute to the further growth of clean technologies. But today renewable energy is more expensive. There are also plans for gasification of a number of regions of the country, however, the coal industry occupies a large share in the energy balance of the republic. It provides 78 % of electricity, as well as a full load of coke production. But the use of coal as a fuel in the form that it is happening now has many disadvantages. In terms of calorific value, coal is less efficient than gas, and when generating 1 kWh of electricity, about 1 kilogram of CO₂ is emitted into the atmosphere.

Solar panels used over the past decade have fallen in price, which makes solar energy much more attractive, but it is not enough for the payback period to reach 2–3 years, and given the specifics of operation, it can be assumed that before it expires, it may be necessary to change the panel or other equipment (wires controllers, inverters, batteries). The panels themselves are subject to wear, they need to be cleaned, the absorbing surface is covered with dust and dirt in bad weather, even a small damage can reduce the quality of the reflective coating. A prolonged solar season is typical for the southern regions, that is, the intensity of solar radiation required for energy conversion in other regions will be seasonal.

Solar energy is not just a fashion trend, but a promising direction in the production of electricity, supported by government policy. By the current SES in 2020, it is planned to launch 4 more solar power plants with a capacity of 77 MW. Every year, about 30 GW of solar-powered generating capacity is connected to

the grid in the world. Moreover, according to the results of 2018, Germany was not too sunny, where 7.6 GW was installed. The production of equipment for such SES on the territory of the country is possible and would reduce the cost of this type of energy, but still traditional energy is still out of competition. In the northern regions, the flow of solar radiation from mid-April to early October can satisfy a partial demand for electricity. But it is also necessary to take into account cloudy days when the sun's rays do not have direct access to the panel. Dependence on the season and time of day, the high cost of construction, the features of the operation of such equipment are the main drawbacks affecting the choice of energy supply technology. And the long winter period, accompanied by prolonged low temperatures in most of our republic, suggests that the use of renewable energy is generally unprofitable.

Wind energy as an alternative to traditional energy is already being used in some regions. The wind speed in the vast expanses of our country varies from moderate to strong, with such production there are no expenses for the purchase and transportation of fuel, the cost of equipment decreases every year. But again, such sources are unreliable, as in the previous case, they depend on the weather and the time of year. The peculiarities of operation in general make such sources not permanent. Icing can disrupt the operation of a wind farm, weather conditions change the amount of energy generated. The station operates at full capacity only 10 % of its time. And most likely such a source is applicable only as an additional one, because at low temperatures the energy received is not enough for heating. So far, solar and wind energy is much more expensive than using traditional sources.

Underground gasification can be used as an alternative source, using such technology Kazakhstan may be in the first place in the production of combustible fuel. This is a more environmentally friendly and safe way, since there is no need for expensive equipment used for the safety of miners (coal harvesters, lifts, trolleys and other equipment for transportation). All the ash remains in the mines, and not carried by the wind. Many countries of the world are interested in underground gasification. The place and role of decentralized energy in the energy supply of Kazakhstan, the ways of its implementation with the help of hybrid power generating plants have been described more than once.

Materials and methods

Given the climatic conditions, geographical location, as well as the location of the fuel resources of our country, decentralized energy supply is preferable, in particular for dispersed settlements where coal is the only available type.

Decentralization of energy supply is one of the options for providing various types of energy to remote settlements, which will primarily affect the reduction in the cost of electricity, as well as more comfortable living conditions in places where centralized heating of fuel has not been introduced. Вариант получения

из твердого топлива газообразное с избыточным давлением и высокой температурой и наряду с этим, твердого кокса может быть использован для обеспечения газо- и энергоснабжения малых населенных пунктов.

The increased pressure and temperature of gases can be triggered in an electric power generation unit (gas turbine), and then directed to the household needs of the population. By burning solid coke residue, hot water will be obtained for heating the population. In addition, gaseous fuel can be used for household needs.

The location of such remote settlements allows them to be supplied with cheaper fuel – coal. As is known, coal contains a sufficient amount of substances that, when heated, are released as a combustible gas with an acceptable heat of combustion, the released gas is suitable for use as a gaseous fuel, as well as for cooking. The supply of settlements with gas for domestic needs, as well as electric and thermal energy can be carried out according to the scheme shown in Figure 1.

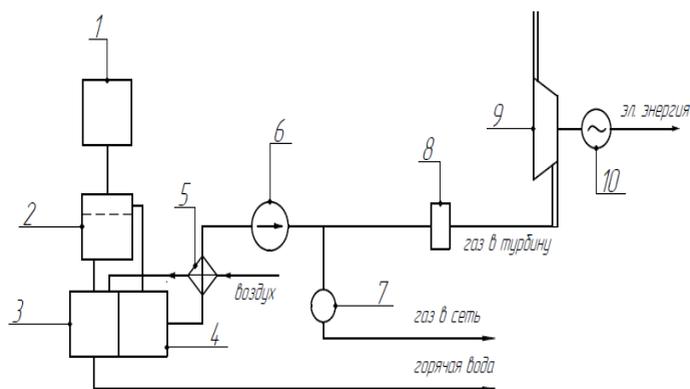


Figure 1 – a source of autonomous gas and power supply to a remote settlement when using coal as a feedstock

The proposed autonomous source of gas and energy supply to a remote settlement works as follows: ordinary coal from the warehouse (1) is fed to the classifier (2), in which the small part is removed. The fine particles removed from the coal are sent to the boiler unit (3), in which the pyrolyzer is simultaneously heated and the water intended for further supply to the heat supply network is heated. The classified coal enters the pyrolyzer chamber (4) without oxygen access. The gas released during heating through the cooler (5) with the help of a fan (6) enters the main gas pipeline, where it is divided into two streams, one of

which enters the receiver (7). The presence of the receiver allows you to vary the performance quite widely due to volume changes. The gaseous fuel accumulated in the receiver is supplied to the local gas network before entering the houses. Another flow of gaseous fuel goes to the gas distribution point (8) and then to the gas turbine unit (9), where the gaseous fuel energy is converted into electrical energy in the electric generator (10).

From the pyrolyzer chamber (4), the coke residue formed after the removal of volatile, together with coal is fed for combustion into the boiler unit (3), in which the pyrolyzer is simultaneously heated and the water intended for further supply to the heat supply network is heated.

The cooler (5) is designed to cool the pyrolysis gas and use the resulting heat to heat the air sent to the boiler.

The proposed autonomous source of gas and power supply to a remote settlement involves switching to a single-fuel power supply system, which is an advantage in regions where coal is the only source of energy, excluding the use of hydrocarbon gas and liquid fuel. The introduction of this patent will make it possible for the consumer to obtain gas, as well as heat and electric energy when using coal as a feedstock, excluding the use of hydrocarbon gas and liquid fuel. The result is achieved by transferring: electric energy generated by a gas turbine installation over the network; hot water obtained using a hot water boiler over thermal networks; gas obtained in a pyrolyzer chamber without oxygen access through a local gas network.

Results and discussion

If biogas is used as fuel, a special biogas plant can be used for the production of various types of energy: heat, electricity and fuel for cars, the product of which is an environmentally friendly gaseous fuel. Simply put, a biogas plant is an aggregate consisting of a complex of technical structures and devices combined into a single technological cycle. The configuration of a biogas plant can be different, depending on its capacity, the type of raw materials and the final product obtained in the form of thermal or electrical energy, both types of energy or only biogas used in household gas stoves and as fuel for cars.

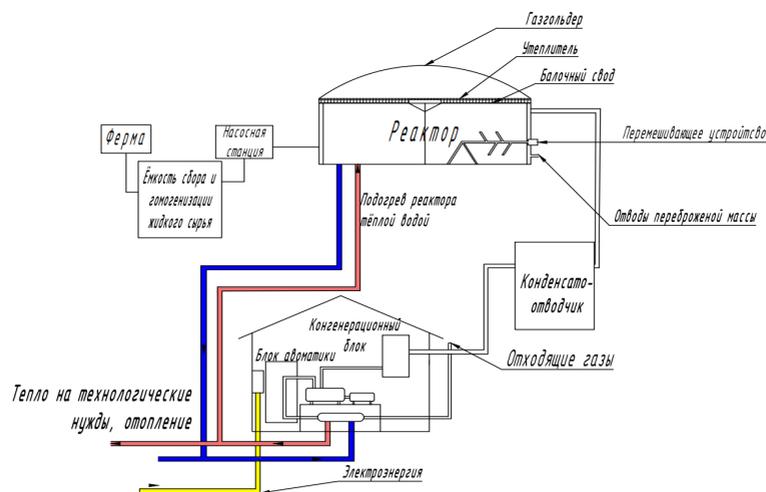


Figure 2 – Configuration of a biogas plant

The standard installation consists of several units and aggregates. This is a storage tank in which raw materials used to produce biogas are accumulated, mixers and mills of various designs dividing large fractions of raw materials into smaller ones, a gas tank, a hermetically sealed container that serves as a storage of the resulting gas. The heart of the installation is a reactor, a tank or a reservoir in which the process of biofuel formation takes place. The systems for supplying raw materials to the reactor of the installation and the system for transferring the received fuel from the reactor and the gas tank are used at the stage of processing and conversion into other types of energy. The plant is controlled by an automation system with protection and control over the processes of production of gas and its processed products.

For smooth operation, it is necessary to prepare raw materials. As raw materials, products of the vital activity of farm animals (manure), waste from food and other industries (timber processing) can be used, which enter storage tanks, after which the raw materials are crushed and transported using pumps. The prepared raw materials enter the bioreactor, which must be durable, acid-resistant and hermetically sealed, which determines the process of biogas production.

In order to create optimal conditions for the decomposition of the prepared raw materials and accelerate the fermentation process, devices are usually installed in the reactor to provide additional heating and mixing of decomposition products. The optimal temperature regime for the operation of the bioreactor plus 40 ° C. As a result of decomposition and fermentation, after a certain period of time, which

depends on the raw materials and technical capabilities of a particular installation, biogas and biofertilizers are formed. Biogas accumulates in a gas tank, which can be detached from the bioreactor, or mounted in a single housing with it. Biofertilizers accumulate in the capacity of the bioreactor itself and after the fermentation process is completed, they are removed for further use. Biogas, under the pressure created in the gas tank, enters the purification system, after which it is used by consumers to obtain electrical, thermal energy and for household consumption. Biofertilizers enter the storage tank, then by separation, are divided into solid and liquid, after which they are used for their intended purpose.

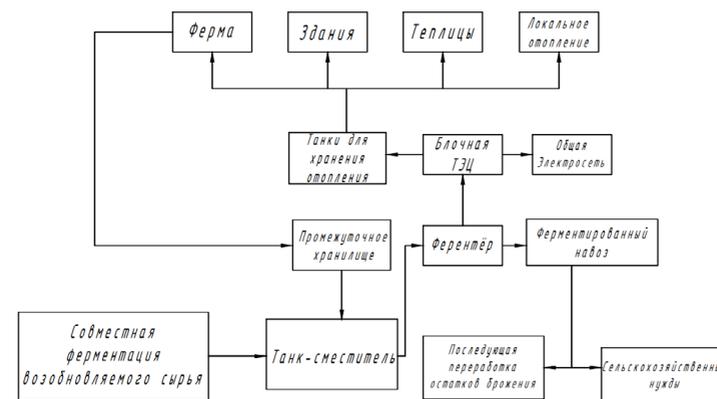


Figure 3 – Biogas production technology

The peculiarity of such an installation is that in a cold climate, most likely, the use will be ineffective. When studying this direction, the following advantages and disadvantages of a biogas plant were highlighted. First of all, from the point of view of ecology, when installing such installations near enterprises that are suppliers of raw materials, the protective sanitary zone around them decreases. Emissions of harmful substances into the atmosphere are reduced. From an energy point of view, we get affordable raw materials at minimal prices, and sometimes without it, as a result, the consumer receives various types of energy and fuel with low cost. From an economic point of view, the installation of biogas plants avoids the construction of sewage treatment plants, barrier devices, and waste disposal costs. Which depends on the availability of various types of raw materials used as fuel. Waste can be considered as an inexhaustible source of raw materials, provided by the growth of agricultural production and the volume of food industry products.

Conclusion

The proposed autonomous sources of gas and energy supply provide for the transition to a fuel system preferred for the region, depending on climatic conditions and territorial locations. The first option is preferred in regions where coal is the only source of energy. This is typical for the Northern region of the country with a long cold period and the presence of large coal reserves, where it is possible for the consumer to obtain gas, as well as heat and electricity when using coal as a feedstock, excluding the use of hydrocarbon gas and liquid fuel. The result is achieved by transferring: electric energy generated by a gas turbine installation over the network; hot water obtained using a hot water boiler over thermal networks; gas obtained in a pyrolyzer chamber without oxygen access through a local gas network.

The second method will ensure the disposal of animal waste and organic waste, while it is necessary to take into account the territorial dependence of the installation location on the area where the sources of raw materials are located (large livestock complexes, processing enterprises and agricultural production facilities), this will affect the cost of energy generated.

REFERENCES

- 1 **Abdaliyev S. K., Aliyarov B. K.** Szhizhennyj gaz (poputnyj ili prirodnyj) i lokal'naya – priemlemaya al'ternativa gazifikacii malyh poselkov v Kazahstane [Liquefied gas (associated or natural) and local – an acceptable alternative to gasification of small villages in Kazakhstan] // Vestnik NAN RK 2011, № 2.– P 55–60
- 2 **Aliyarov B. K., Zhalmagambetova U. K.** i dr., Obespechenie izolirovannogo poselka razlichnymi vidami energii po priemlemoj stoimosti [Providing an isolated village with various types of energy at an acceptable cost] // Vestnik PGU energeticheskaya seriya. – 2017, № 4, P.21–25.
- 3 Konceptsiya po perekhodu Respubliki Kazahstan k «zelenoj ekonomike»: ot 30 maya 2013 № 577 [Concept for the transition of the Republic of Kazakhstan to a «green economy»: dated May 30, 2013 No. 577] // [Electronic resource]: – https://greenkaz.org/images/for_news/pdf/npa/konceptsiya-po-perehodu.pdf. 05.05.20
- 4 Khabar 24 glavnyi informatsionnyi channal [Khabar 24, the main information channel] [Electronic resource]: – <https://24.kz/ru/news/delovye-novosti/item/272816-kazahstan-zanimaet-9-mesto-po-ob-emam-mirovykh-zapasov-uglya>
- 5 Elektrobalans Respubliki Kazahstan: Raschety Konsul'tanta [Electric balance of the Republic of Kazakhstan: Consultant's Calculations]. [Electronic resource]: – URL: <http://stat.gov.kz/> (25.10.18).
- 6 **Kopytov V. V.**, Gazifikaciya tvordyh topliv: retrospektivnyj obzor, sovremennoe sostoyanie del i perspektivy razvitiya [Gasification of solid fuels:

a retrospective review, current state of affairs and development prospects // Al'ternativnaya energetika i ekologiya – № 6 за 2011 г.

7 **Zhalmagambetova U., Aliyarov B.** Providing the isolated localities with various energy types at the acceptable cost // International Conference TE-RE-RD – 2018. – Vol.4 № 1.–P. 207–211

8 Patent KZ №4356 na poleznuyu model' / Avtonomnyj istochnik gazo- i energosnabzheniya udalennogo naseleennogo punkta [Patent KZ No. 4356 for utility model / Autonomous source of gas and power supply of a remote settlement]/ Zhalmagambetova U.K.;opublikovano 13.05.2020. Zayavka 2019/0144.2 ot 13.05.2019 г.

9 **Vedenev A.G., Vedeneva T.A.** Rukovodstvo po biogazovym tekhnologiyam [Guide to biogas technologies] Bishkek: «DEMI», 2011, 84 с.

Spravochnik potrebitelya biotopliva [Biofuel Consumer Handbook]/ pod red. V. Varesa. – Tallin, 2005. – 83 p.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Абдалиев С. К., Алияров Б. К.** Сжиженный газ (попутный или природный) и локальная – приемлемая альтернатива газификации малых поселков в Казахстане // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан 2011, № 2.– С 55-60
- 2 **Алияров Б. К., Жалмагамбетова У. К.** и др., Обеспечение изолированного поселка различными видами энергии по приемлемой стоимости // Вестник ПГУ энергетическая серия. – 2017, № 4, С.21–25.
- 3 Концепция по переходу РК к «зеленой экономике»: от 30 мая 2013 г. № 577 // [Electronic resource]: – https://greenkaz.org/images/for_news/pdf/npa/konceptsiya-po-perehodu.pdf, дата обращения 05.05.2020
- 4 Хабар 24, главный информационный канал [Electronic resource]: – <https://24.kz/ru/news/delovye-novosti/item/272816-kazahstan-zanimaet-9-mesto-po-ob-emam-mirovykh-zapasov-uglya>, дата обращения 05.05.2020
- 5 Электробаланс Республики Казахстан: Расчеты Консультанта. [Electronic resource]: – URL: – <http://stat.gov.kz/> (25.10.22).
- 6 **Копытов В. В.**, Газификация твёрдых топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития // Альтернативная энергетика и экология – №6 за 2011 г.
- 7 **Zhalmagambetova U., Aliyarov B.** Providing the isolated localities with various energy types at the acceptable cost // International Conference TE-RE-RD – 2018. – Vol.4 №1.-P. 207–211
- 8 Патент KZ №4356 на полезную модель / Автономный источник газо- и энергоснабжения удаленного населенного пункта/ Жалмагамбетова У.К.;опубликовано 13.05.2020.Заявка 2019/0144.2 от 13.05.2019 г.

9 Веленев А. Г., Веленева Т. А. Руководство по биогазовым технологиям Бишкек: «ДЭМИ», 2011, 84 с.

Справочник потребителя биотоплива [] / под ред. В. Вареса. – Таллин, 2005. – 83 с.

Accepted for publication on 18.09.23

*У. Қ. Жалмагамбетова¹, А. М. Казамбаев², Н. Ж. Жусупова³

Э. М. Джусупова⁴

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

e-mail: ultuara@mail.ru

Принято к изданию 18.09.23.

АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ И БИОГАЗЕ

В статье рассмотрены два варианта автономного энергоснабжения с использованием как традиционного, так и нетрадиционного топлива.

Описана эффективность использования возобновляемых источников энергии в зависимости от климата, географического расположения и способа производства энергии.

Актуальность данной темы вызвана все более высокими экологическими требованиями к производству. Причем децентрализация при использовании нетрадиционных источников позволяет быть энергосистеме более гибкой в автономном режиме с учетом времени суток, интенсивности солнечной, ветровой и гидроэнергии. Использование возобновляемых источников энергии возможно и в сочетании с твердым, жидким и газообразным топливом. Комбинированные системы очень удобны для энергообеспечения небольших объектов. Это могут быть удаленные от централизованного энергоснабжения населенные пункты, автономные промышленные объекты, крестьянские хозяйства, животноводческие фермы

Один из вариантов энергоснабжения больше подходит для Северного региона страны с длительным холодным периодом и наличием больших запасов угля, там есть возможность получения потребителем газа, а также тепловой и электрической энергии при использовании в качестве исходного сырья угля, рода по локальной

газовой, сети. Второй способ обеспечит утилизацию отходов жизнедеятельности животных и органического мусора.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, биогаз, газообразное топливо, переработка угля, автономное энергоснабжение.

*Ұ. Қ. Жалмагамбетова¹, А. М. Казамбаев², Н. Ж. Жусупова³

Э. М. Джусупова⁴

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

e-mail: ultuara@mail.ru

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ҚАТТЫ ОТЫНМЕН ЖӘНЕ БИОГАЗБЕН ДЕРБЕС ЭНЕРГИЯМЕН ЖАБДЫҚТАУ

Мақалада дәстүрлі және дәстүрлі емес отынды қолданатын автономды энергиямен жабдықтаудың екі нұсқасы қарастырылған. Жаңартылатын энергия көздерінің тиімділігі климатқа, географиялық орналасуына және энергия өндіру әдісіне байланысты сипатталған. Бұл тақырыптың өзектілігі өндіріске қойылатын экологиялық талаптардың артуына байланысты. Сонымен қатар, дәстүрлі емес көздерді пайдалану кезінде орталықсыздандыру энергия жүйесіне тәулік уақытын, күн, жел және гидроэнергияның қарқындылығын ескере отырып, офлайн режимде икемді болуға мүмкіндік береді. Жаңартылатын энергия көздерін пайдалану қатты, сұйық және газ тәрізді отынмен бірге мүмкін. Біріктірілген жүйелер шағын нысандарды энергиямен қамтамасыз ету үшін өте ыңғайлы. Бұл орталықтандырылған энергиямен жабдықтаудан шалғай елді мекендер, автономды өнеркәсіптік объектілер, шаруа қожалықтары, мал фермалары болуы мүмкін.

Энергиямен жабдықтау нұсқаларының бірі ұзақ суық кезеңі бар және көмірдің үлкен қоры бар елдің солтүстік аймағы үшін қолайлы, тұтынушының газды, сондай-ақ көмірдің бастапқы шикізаты ретінде пайдаланған кезде жылу және электр энергиясын алу мүмкіндігі бар, жергілікті газ желісі бойынша. Екінші әдіс жануарлардың қалдықтары мен органикалық қоқыстарды жоюды қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: баламалы энергия көздері, биогаз, газ тәрізді отын, көмірді қайта өңдеу, автономды энергиямен жабдықтау.

<https://doi.org/10.48081/XOTU3472>

***M. G. Zhumagulov¹, A. A. Baubek², A. M. Gribkov³,
S. A. Glazyrin⁴, M. V. Dolgov⁵**

^{1,2,4,5}L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of Kazakhstan

³Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

PROMISING TECHNOLOGIES FOR COMBUSTION OF USED OIL IN BURNERS

Emissions of pollutants are of great public concern due to their impact on the environment and human health. There is an acute issue of saving energy resources while reducing harmful emissions during the combustion of various types of fuel. Used oil, which consists mainly of hydrocarbons, is an excellent alternative for partial or complete replacement of typical design fuels does not contain the heavy residual fraction characteristic of heavy fuels.

This article provides an overview of alternative fuel combustion technologies. The review focuses on the principles of operation, key technologies in the field of used oil combustion. As an alternative to existing technologies on the market, an innovative design of a swirl burner for burning various types of fuel is presented in comparison with the closest analogue in terms of design and characteristics. The main advantages of using the innovative design of the burner are substantiated. The conducted literature review and analysis will be useful for further study of the efficient combustion of used oil.

Keywords: combustion, vortex burner, fuel-air mixture, vortex, alternative fuel, used oil.

Introduction

The high rate of fossil fuel depletion is the main cause of the energy crisis and pollution dilemma [1]. There is an acute issue of environmentally safe combustion of heavy hydrocarbons and substandard fuel for cheap energy production [2]. The industry is gaining attention due to worldwide concerns about greenhouse gas, carbon dioxide (CO₂), nitric oxide (NO_x), sulfur oxide (SO_x) and soot emissions. For example, the Intergovernmental Panel on Climate Change has provided

evidence that CO₂ emissions increased by 3 % per year between 1990 and 2010 and will continue to rise [3]. Burning used oil as a heating fuel is underutilized due to the challenges of cleaning up contaminants found in the oil and overcoming its high viscosity and density to properly atomize into a fine stream and effectively mix the fuel with air [4]. In external combustion devices such as oil burners, the combustion and ejection characteristics of viscous fuels are improved by using heaters to reduce the high viscosity of the oil and swirlers to supply turbulent secondary air in a swirl form to the combustion zone in order to provide efficient atomization and mixing characteristics [5], [6]. Although the re-refining and recycling of used oil is considered more environmentally friendly, its combustion, which meets the quality requirements for heat recovery, is a fairly environmentally and economically viable option [7]. Used oil is used as an individual fuel or mixed with others for many heating systems. In ceramic kilns, used oil is used as a fuel during hardening and glazing under reducing firing conditions [8], [9]. Household heaters, foundries and, more importantly, cement kilns use used engine oil as an additional or replacement heating oil [10].

Used oil burners are justified where there are sufficient volumes of «own-made» testing – auto enterprises, service stations, car garages, heavy equipment repair enterprises. For them, it is not only waste disposal, but also cheap heat for their own needs. Greenhouses can also achieve savings when using used oil boilers. The advantage is that there is no need for gas supply lines, which leads to less risk during interruptions in gas supplies. Small enterprises, farms, livestock complexes can easily solve the issue of heating with the help of mining boilers.

Literature review

At the present stage of development of science and technology in the world, developments in the field of used oil combustion are being actively carried out. The issue is especially relevant due to the increasing price of traditional energy carriers.

Studies conducted on the incineration of used oil have reported high spray, combustion, and impressive heating values [11], [12], [13].

In the EU and the USA, systems for the disposal of used oils have long been developed. Used oil burners from the following manufacturers are popular: USA (EnergyLogic; Omni; Clean Burn), Canada (CAEQ), Germany (Kroll; Euronord EcoLogic; Giersch), Italy (Ecoflam), Finland (Danvex), South Korea (Olympia AL), China (Smart Burner; NORTEC WB), Poland (Hiton; Master MB).

The equipment requires regular maintenance – cleaning the combustion chamber, checking the filter and removing contaminants from it is required at least once a month. When it comes to used oil burners, the quality of American and Canadian products is unbeatable. German and Austrian modules are traditionally distinguished by high quality and reliability. Korean burners are multifunctional

and more affordable. Chinese and Polish burners are produced in approximately the same quality and are a good option for heating small spaces [14].

Figure 1 shows a Kroll KG/UB burner manufactured in Germany, which is used on various equipment, including heat generators.



Figure 1 – Universal burner KROLL KG/UB 55

Figure 2 shows a vortex burner device «Burner Alternative» – 270 2-3 MW. The burner device combined (gas/liquid fuel) multicomponent, allows to burn any gaseous, liquid fuel or their mixes.



Figure 2 – Burner Alternative - 270 2-3 MW

The burner can be used for burning used motor, transmission, hydraulic, turbine, transformer, vacuum oils and mixtures of these oils, diesel fuel, motor fuel, heating oil in accordance with specifications, pyrolysis fuel.

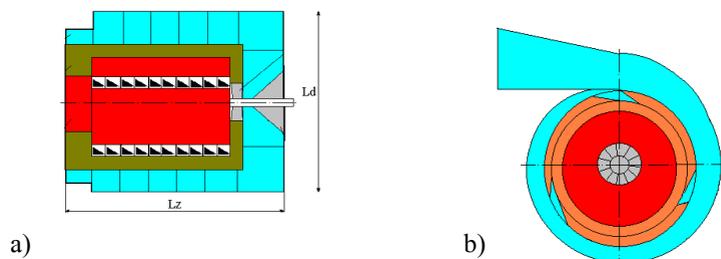
The burner operation is based on the principle of preheating and vortex mixing of fuel components (Figure 3). The primary combustion of fuel occurs in the prechamber using pneumatic nozzles and quasi-solid air vortices [15].



Figure 3 – Swirlers inside the combustion chamber

Another development of a direct-flow burner [16], [17] showed the possibility of efficient combustion of diesel fuel and used oil; when steam is supplied, due to the effect of diluting the combustible mixture and lowering the flame temperature, NO_x is reduced by 30 %. Complete combustion of heavy fuels (crude oil, fuel oil, waste oil, oil production waste) in such a burner is not efficient, since it requires a longer stay of fuel droplets in the combustion chamber.

Considering Shtym's vortex burner (Figure 4), it should be noted that the use of the cyclone-vortex method of burning liquid and gaseous fuels makes it possible to increase their heat output by 10–20 %, reduce specific fuel consumption, and bring nitrogen oxide emissions to a level not exceeding established standards in all areas, load range, reduce the cost of electricity for traction and blowing by 10–20 %. In addition, the system of automatic control of the boiler unit is greatly simplified, and the reliability of the processes of ignition, combustion and load control is increased [18].



a) b)
Figure 4 – Cyclone pre-furnace: a) longitudinal section; b) cross section

Materials and methods

The principle of operation and the design of mass-produced vortex burners using used oil are directly related to forced heating and partial evaporation of the fuel. After the fuel is supplied to the burner, it is sent to the pre-treatment chamber, heated to the required temperature and oxidized. The combustion of the air-fuel mixture takes place in a flame. The electrode, located directly in front of the nozzle, is responsible for igniting the fuel-air mixture. The turbulence of the air flow created by the fan blades is used to maintain the intensity of combustion. The principle of operation of the burner is the same as that of devices operating on diesel fuel or liquefied gas.

Depending on the type of power control, there are certain classifications of burners. Burners are manufactured in two types:

Single stage burner - with a simple design and operating principle. Heating of the heat carrier is carried out in the maximum power mode. When the required temperature is reached, the burner turns off until the coolant cools down to the set value. After that, combustion resumes.

The principle of operation of single-stage burners is inefficient and leads to a significant waste of fuel.

Two-stage burner – a module that operates continuously without shutting down. The heating principle is as follows. The burner will work at 100 % until the coolant reaches the required temperature. Then there is a switch to 30 or 40 % reduced power. The burner does not turn off completely. A similar principle of operation has a smoothly two-stage and modulating burner units.

Although the cost of two-stage and modulating burners is much higher, the costs are fully paid off with fuel savings of up to 15–20 % compared to single-stage burners [14].

The comparative analysis of the swirl burner device with its design analogue was carried out by means of determination of aerodynamic resistance of the fuel-air mixture (head loss, Pa) in the narrowing channel (by analogy with the confuser).

Aerodynamic resistance can be determined by the universal formula for linear and local resistances of any configuration:

$$\Delta h = \lambda \cdot \left(\frac{l}{d} \right) \cdot \frac{W_r^2}{2} \cdot \rho + \xi \cdot \frac{W_r^2}{2g} \quad (1)$$

where λ – is the coefficient of friction resistance (for metal structures 0.02);

l – length of the design section, m;

d – diameter of the design section, m;

W_r^2 – radial component of velocity;

ρ – pressure, Pa;

ξ – local resistance coefficient. For constriction flow with constriction angle $\alpha = 20^\circ \div 60^\circ$, ξ is taken as 0.1.

Results and discussion

Burner manufacturers differ in how they control axial flow (swirl) through nozzle and swirler design, air pressure, and adjustment mechanisms.

One of the problems in the organization of fuel combustion in a small volume at high volumetric thermal stresses is the protection of the walls from overheating and destruction. Due to improper organization of aerodynamics and fuel spraying, the destruction of the inner surface of the pre-furnace (combustion chamber) begins almost immediately. In the case of water cooling, fistulas are formed, lining with refractory material leads to local overheating of individual zones with their subsequent melting. As a result, the symmetry of the flame is broken and coking of its individual sections occurs. Particular attention should be paid to the start-up modes and the first minutes of operation of the pre-furnace, when heating occurs and a reverse current zone stabilizing the flame (ejection zone) is formed. Some designs of pre-furnaces do not allow gradual warming up to enter a stable operating range. A common problem of many cyclone chambers is the loss of the combustion products recirculation zone and the transition to a normal once-through mode when the rated load is reached or close to it. At the same time, excess air increases sharply, the load is immediately limited by draft, and combustion stability depends entirely on the quality of atomization and air temperature. Violation of the nozzle operation leads either to the failure of the torch, or to the formation of coke deposits on the screen surfaces in the area of the fore-furnace embrasure. Also, the disadvantages of burners listed above include the problematic scaling due to difficult hydrodynamic conditions.

As a result of the review of technologies for the combustion of alternative fuels, it was concluded that the closest analogue in terms of the type of organization of the vortex in the combustion chamber is the Shtym burner shown in Figure 5.

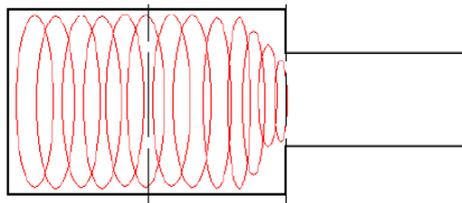


Figure 5 – Shtym`s vortex burner

Unlike the nearest innovative burner device, it has an internal pipe, due to which the overheating of the combustion chamber body is significantly reduced and, as a result, the efficiency of the device shown in Figure 6 is increased.

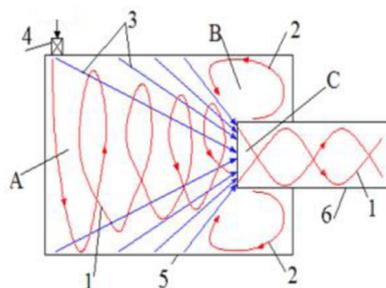


Figure 6 – Distribution of the fuel-air mixture. 1 – vortex motion of combustion products, 2 – reverse flow, 3 – flame vector in the combustion chamber; 4 – supply pipe; 5 – combustion chamber; 6 – outlet pipe. Zones A, B, C.

Fuel and oxidizer are fed into the combustion chamber 5 (Figure 6) tangentially through the supply pipe 4. The fuel and oxidizer enter the burner separately in the form of a swirling jet, then they are mixed in the combustion chamber 5. As they move, until they meet with the secondary air, the air mixture is preheated due to mass transfer with the suction flow of hot gas and irradiation with a burning torch, which leads to oxidative reactions and ignition of fuel particles. The peak of the mixing effect falls on the inlet section of the outlet pipe 6.

Combustion initiation begins in the combustion chamber 5, accompanied by heat treatment of the fuel, the release of volatile fractions, and partial coking. The products of complete and incomplete combustion underlie the formation of a stable vortex flow (Figure 6 shows the path of gases by lines 1). Under the action of the vortex motion of gases in the axial zone A, a deep rarefaction is formed, and

in zone B - reverse currents 2 of the combustion products. The reverse currents create an overpressure in zone B, as a result of which the pressure in zone B exceeds the pressure in zone C. As a result, the flame vector 3 will be directed to zone C. Thus, the vortex flow in the combustion chamber takes the form of a mini-tornado - a figured vortex with a narrowing of the vortex radius as the gas moves towards the outlet section. It should also be noted that the main vortex flow of variable cross section (mini-tornado) practically does not touch the prechamber body. Due to the part of the outlet nozzle that goes inside, friction occurs in the area of contact of the main vortex of zone A with the reverse currents of zone B, as a result of which overheating of the prechamber is almost completely eliminated, and the effect of friction of gas flows against each other has a positive effect on the temperature inside the chamber, since heat is absorbed by the threads themselves, not by the camera body.

In addition, the innovative vortex burner is easy to manufacture, highly reliable, and does not require significant capital investment for boiler upgrades [19].

To compare the proposed design of the vortex burner [20] with the closest analogue [18], the aerodynamic resistance of the outlet part of the devices was estimated. Figure 7 shows the aerodynamic drag loss curves in the presented burner device (1), and for comparison, the aerodynamic losses in the vortex pre-furnace device described in the works of Shtym (2) are calculated for similar dimensions of the device. For the structure under study, laboratory measurements of aerodynamic resistance were made according to the magnitude of the load on the blower fan electric motor. The maximum deviation in head loss was 15 %. In the proposed burner (1), the losses continuously increase due to the increase in axial speed with a reduction in the diameter of the vortex in the direction of flow along the x axis. In the first zone up to the inlet nozzle, the device (1) is inferior to the known device (2) in terms of aerodynamic resistance. However, the aerodynamic resistance increases uniformly up to the maximum value at the inlet to the outlet nozzle, which has a positive effect on the reliability of the device (1) in comparison with (2). The device (2) has in its design a sharp narrowing of the outlet channel (the entrance to the channel with straight edges of the western face with the walls), as a result of which the aerodynamic resistance increases sharply and at the stage of the exit of combustion products significantly exceeds the resistance in the device (1) by 1.34 times. Thus, the presence of an inwardly protruding part of the outlet nozzle is justified.

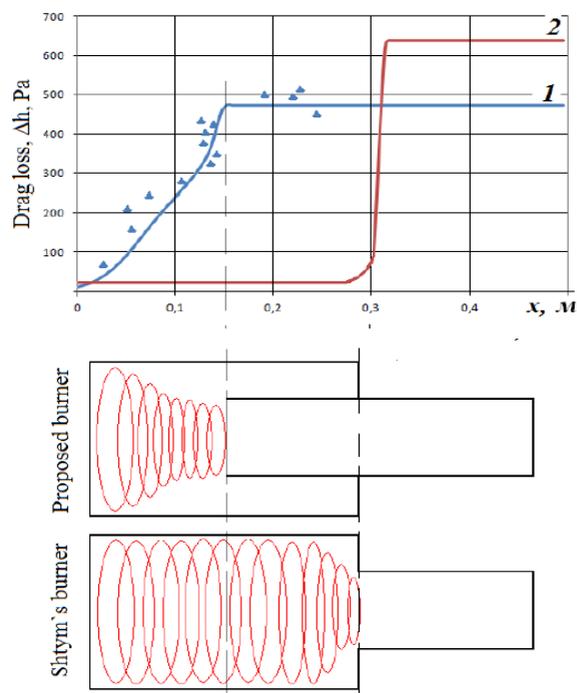


Figure 7 – Aerodynamic drag losses, D_h , Pa
1 – Proposed burner; 2 – Shtym's burner

The philosophy behind the innovative swirl burner is to have no moving parts in the burner to ensure smooth operation without jamming and avoid repeatability issues. The advantages of the innovative burner include a relatively simple design, low energy consumption, easy adaptation to the combustion process conditions (pressure and temperature), continuous separation of particles without accumulation, performance at high concentrations of particles in the gas phase.

Conclusion

Based on the analysis of the presented materials, it can be stated that the improvement of devices for burning both low-calorie and high-calorie fuels is mainly aimed at the maximum possible increase in the efficiency of fuel combustion against the background of reducing the emission of harmful substances into the atmosphere. This is achieved through the use of a number of methods. This includes, above all, the efficient formation of the fuel-air mixture. In addition, for the efficient combustion of this mixture, it is necessary to create conditions for the

recirculation of combustible substances in the furnace space itself. The proposed design of a universal burner (chamber shape) increases the residence time of the fuel in the combustion chamber and, as a result, increases the efficiency of burning various liquid hydrocarbons, including substandard ones.

Information about financing

This research is funded by the Grant «The best university teacher of 2021 in the Republic of Kazakhstan» (Zhumagulov M. G.).

REFERENCES

- Huang, Y., Shen, H. Z., Chen, H., Wang, R., Zhang, Y. Y., Su, S., Chen, Y. Y., Lin, N., Zhuo, S. J., Zhong, Q. R., Wang, X. L., Liu, J. F., Li, B. G., Liu, W. X., Tao, S. Quantification of global primary emissions of PM_{2.5}, PM₁₀ and TSP from combustion and industrial process sources. *Environ. Science Technol.* 2014; 48: P. 13834-13843.
- Zhao, N, et al. Direct combustion of waste oil in domestic stove by an internal heat re-circulation atomization technology: Emission and performance analysis. *Waste Management* 2020; 104: P. 20–32.
- IPCC (1999) Aviation and the Global Atmosphere [online] available from <<https://www.ipcc.ch/report/aviation-and-the-global-atmosphere-2/>> [13 Jun. 2019].
- Baukal, E. C. The john zink hamworth combustion book : Design and operation. 2nd Edition. New York, Ohio : CRC Press, 2014.
- Daniel, B. J. Waste oil burner pre-heater design. US patent no. US WO 20130206046 A1, 2012.
- Baukal, E. C. Industrial combustion testing. New York, Ohio: CRC Press, Tailor and Francis Group, 2010.
- Taylor, E. Turning used motor oil into heat with a used oil furnace. National rural transit assistance program. 2014.
- Hansen, T. Reduction firing. Digital fire. [Online]. Available: [Electronic resource]: – http://digitalfire.com/4sight/glossary_reduction_firing.html
- Zakin, R. A. guide to the ceramic kiln and various firing methods. ceramic arts Network Daily. [Online]. [Accessed 10.10.2018]. Available: <http://ceramicartsnetwork.org/daily/clay-tool/ceramic-kiln/guide-ceramic-kiln-various-firing-methods/>
- Speight, J. G., Exall, D. I. Refining Used Lubricating Oils. New York, Ohio: CRS Press, 2014.
- Al-Omar, S. B. Used engine lubrication oil as a renewable supplementary fuel for furnaces. *Energy Conversion and Management* 2008;49(12): P. 3648-3653. [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.07.011>

12 **Aji, I. S., El-Jumrah, A. M., Aji, M. A., Ifeanyi, N. D.** Admixture of used engine oil blended with kerosene as a substitute for industrial fuel. *Continental Journal of Engineering Sciences* 2008; 3(6): P. 64–71.

13 **Madu, M. J., Aji, I. S., Martin, B.** Design, construction and testing of a burner that uses an admixture of used engine oil and kerosene for foundry application. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering Technology* 2011; 6(2). P. 23–31.

14 [Electronic resource]: – https://avtonomnoeteplo.ru/otopitelnye_kotly/327-promyshlennye-kotly-na-otrabotke.html

15 [Electronic resource]: – <https://metalist-kremen.ucoz.ua/board/teplogenerator/10>

16 **Anufriev, I. S., Kopyev, E. P.** Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet. *Fuel Process Technol* 2019; 192: P. 154–69.

17 **Anufriev, I. S., Alekseenko, S. V., Sharypov, O. V., Kopyev, E. P.** Diesel fuel combustion in a direct-flow evaporative burner with superheated steam supply. *Fuel*, 2019. 254 p.

18 **Штым, А. Н., Штым, К. А., Воротников, Е. Г., Распутин О. В.** Исследование и освоение вихревой технологии сжигания топлива // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2010 год. № 2 (4).

19 **Dolgov, M. V., Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Gribkov, A. M., Glazyrin, S. A.** Possibility of water-oil emulsion combustion. Часть 1 // Вестник ТоУ. Энергетическая серия. – 2022. – № 1.

20 **Баубек, А. А., Жумагулов, М. Г., Долгов, М. В., Картджанов Н. Р.** Патент РК № 35578, 2020/0770.1, 07.11.2020. Устройство для сжигания углеводородного топлива.

REFERENCES

1 **Huang, Y., Shen, H. Z., Chen, H., Wang, R., Zhang, Y. Y., Su, S., Chen, Y. Y., Lin, N., Zhuo, S. J., Zhong, Q. R., Wang, X. L., Liu, J. F., Li, B. G., Liu, W. X., Tao, S.** Quantification of global primary emissions of PM_{2.5}, PM₁₀ and TSP from combustion and industrial process sources. *Environ. Science Technol.* 2014; 48: P. 13834-13843.

2 **Zhao, N,** et al. Direct combustion of waste oil in domestic stove by an internal heat re-circulation atomization technology: Emission and performance analysis. *Waste Management* 2020; 104: P. 20-32.

3 IPCC (1999) Aviation and the Global Atmosphere [online] available from [Electronic resource]: – <https://www.ipcc.ch/report/aviation-and-the-global-atmosphere-2/> [13 Jun. 2019].

4 **Baukal, E. C.** The john zink hamworth combustion book: Design and operation. 2nd Edition. New York, Ohio: CRC Press, 2014.

5 **Daniel, B. J.** Waste oil burner pre-heater design. US patent no. US WO 20130206046 A1, 2012.

6 **Baukal, E. C.** Industrial combustion testing. New York, Ohio: CRC Press, Tailor and Francis Group, 2010.

7 **Tailor, E.** Turning used motor oil into heat with a used oil furnace. National rural transit assistance program. 2014.

8 **Hansen, T.** Reduction firing. Digital fire. [Online]. Available: [Electronic resource]: – http://digitalfire.com/4sight/glossary_reduction_firing.html

9 **Zakin, R. A.** guide to the ceramic kiln and various firing methods. ceramic arts Network Daily. [Online]. [Accessed 10.10.2018]. Available: <http://ceramicartsnetwork.org/daily/clay-tool/ceramic-kiln/guide-ceramic-kiln-various-firing-methods/>

10 **Speight, J. G., Exall, D. I.** Refining Used Lubricating Oils. New York, Ohio: CRS Press, 2014.

11 **Al-Omar, S. B.** Used engine lubrication oil as a renewable supplementary fuel for furnaces. *Energy Conversion and Management* 2008;49(12): P. 3648-3653. [Electronic resource]: – <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.07.011>

12 **Aji, I. S., El-Jumrah, A. M., Aji, M. A., Ifeanyi, N. D.** Admixture of used engine oil blended with kerosene as a substitute for industrial fuel. *Continental Journal of Engineering Sciences* 2008; 3(6): P. 64–71.

13 **Madu, M. J., Aji, I. S., Martin, B.** Design, construction and testing of a burner that uses an admixture of used engine oil and kerosene for foundry application. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering Technology* 2011; 6(2). P. 23–31.

14 [Electronic resource]: – https://avtonomnoeteplo.ru/otopitelnye_kotly/327-promyshlennye-kotly-na-otrabotke.html

15 [Electronic resource]: – <https://metalist-kremen.ucoz.ua/board/teplogenerator/10>

16 **Anufriev, I. S., Kopyev, E. P.** Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet. *Fuel Process Technol* 2019; 192: P. 154–69.

17 **Anufriev, I. S., Alekseenko, S. V., Sharypov, O. V., Kopyev, E. P.** Diesel fuel combustion in a direct-flow evaporative burner with superheated steam supply. *Fuel*, 2019. 254 p.

18 **Shtym, A. N., Shtym, K. A., Vorotnikov, E. G., Rasputin, O. V.** Issledovanie I osvoenie vihrevoi tehnologii szhiganiya topliva [Research and development of vortex combustion technology] // Vestnik Dalnevostochnogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. 2010 god. № 2 (4).

19 **Dolgov, M. V., Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Gribkov, A. M., Glazyrin, S. A.** Possibility of water-oil emulsion combustion. Chast 1 // Vestnik ToU. Energeticheskaya seriya. – 2022. – № 1.

20 **Baubek, A. A., Zhumagulov, M. G., Dolgov, M. V., Kartdzhanov, N. R.** Patent RK № 35578, 2020/0770.1, 07.11.2020. Ustroistvo dlya szhiganiya uglevodorodnogo topliva [Hydrocarbon fuel combustion appliance].

Accepted for publication on 18.09.23

*М. Г. Жумагулов¹, А. А. Баубек², А. М. Грибков³, С. А. Глазырин⁴, М. В. Долгов⁵.

^{1,2,4,5}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва,

Республика Казахстан, г. Астана

³Казанский государственный энергетический университет,

Российская Федерация, г. Казань

Принято к изданию 18.09.23.

КРАТКИЙ ОБЗОР СЖИГАНИЯ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА В ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Выбросы загрязняющих веществ вызывают большую озабоченность общественности в связи с тем, что они воздействуют на окружающую среду и здоровье человека. Остро стоит вопрос об экономии энергоресурсов с одновременным снижением вредных выбросов в ходе сжигания различных видов топлива. Отработанное моторное масло, состоящее в основном из углеводородов, является отличной альтернативой для частичного или полного замещения типовых проектных видов топлива, не содержит тяжелой остаточной фракции, характерной для тяжелых топлив.

В данной статье представлен обзор технологий сжигания альтернативного вида топлива. Основное внимание в обзоре уделяется принципам работы, ключевым технологиям в области сжигания отработанного масла. В качестве альтернативы существующим на рынке технологиям, представлена инновационная конструкция вихревого горелочного устройства для сжигания различных видов топлива в сравнении с ближайшим аналогом по конструкции и характеристикам. Обоснованы основные преимущества использования инновационной конструкции горелочного устройства. Проведенный литературный обзор и анализ будет полезен для дальнейшего изучения эффективного сжигания отработанного масла.

Ключевые слова: сжигание, вихревое горелочное устройство, топливно-воздушная смесь, вихрь, альтернативное топливо, отработанное масло.

*М. Г. Жумагулов¹, А. А. Баубек², А. М. Грибков³, С. А. Глазырин⁴, М. В. Долгов⁵

^{1,2,4,5}Л. Н. Гумилёв атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ;

³Казань ұлттық энергетикалық университеті,

Ресей Федерациясы, Казань қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ПАЙДАЛАНҒАН МАЙ ОТТЫҚТАРЫН ЖАНУҒА ШОЛУ

Ластаушы заттардың шығарындылары қоршаған ортаға және адам денсаулығына әсеріне байланысты қоғамды алаңдатады. Әртүрлі отын түрлерін жағу кезінде зиянды шығарындыларды азайту кезінде энергия ресурстарын үнемдеу мәселесі өткір тұр. Негізінен көмірсутектерден тұратын пайдаланылған мотор майы типтік конструкциялық отынды жартылай немесе толық ауыстыруға тамаша балама болып табылады, ауыр отынға тән ауыр қалдық фракцияны қамтымайды.

Бұл мақалада балама отын жағу технологияларына шолу жасалады. Шолу жұмыс істеу принциптеріне, мұнай қалдықтарын жағу саласындағы негізгі технологияларға назар аударады. Нарықтағы қолданыстағы технологияларға балама ретінде әр түрлі отын түрлерін жағуға арналған бұрандалы қыздырғыштың инновациялық дизайны дизайны мен сипаттамалары бойынша ең жақын аналогпен салыстырғанда ұсынылған. Оттықтың инновациялық дизайнын пайдаланудың негізгі артықшылықтары негізделген. Өткізілген әдебиеттерді шолу және талдау мұнай қалдықтарының тиімді жануын одан әрі зерттеу үшін пайдалы болады.

Кілтті сөздер: жану, құйынды оттық, отын-ауа қоспасы, құйынды, балама отын, пайдаланылған мұнай.

<https://doi.org/10.48081/ROSN7401>

***Д. Д. Исабеков¹, В. П. Марковский², К. Р. Темирбулатов³,
В. И. Аксёнов⁴, А. П. Плевако⁵**

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

e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье авторами представлено создание и принцип действия альтернативной ресурсосберегающей токовой защиты для высоковольтных электрических двигателей, выполненной с контролем исправности на катушках индуктивности, без использования для этих защит измерительных трансформаторов тока (ТТ) и реле тока с металлическими сердечниками, обладающих значительными весогабаритными параметрами и высокой стоимостью. Защиты с использованием катушек индуктивности могут применяться, как альтернативные по отношению к традиционным токовым защитам электрических двигателей, выполненных на электромеханической, полупроводниковой и микропроцессорной базах и при этом по быстрдействию ничуть не уступающие им. В представленной токовой защите электродвигателей, обладающей функцией контроля исправности своих элементов, который осуществляется автоматически и без участия человека. Обоснованием научной новизны является то, что данная защита обладает эффектом ресурсосбережения материалов, позволяя тем самым осуществить значительную экономию меди, стали и изоляционных материалов, представляя из себя новый подход в реализации токовых защит для электродвигателей. Все конструктивные элементы представленной защиты выполнены из термостойкого, прочного и облегченного пластика, типа «PLA», распечатанных на 3D принтере. Ресурсосберегаемость данной защиты заключается в использовании катушек индуктивности, являющихся, как по своей стоимости, так и по своим весогабаритным параметрам на порядок дешевле и меньше по размеру и весу, чем вышесказанные измерительные ТТ. Использование представленной защиты повышает

надежность релейной защиты, как самой ячейки, где установлены катушки индуктивности, так и электроустановок, в качестве которых выступает электродвигатель, подключенных к ячейке. Предложенная токовая защита выполняется в виде конструкции с установкой катушек индуктивностей внутри ячеек комплектных распределительных устройств (КРУ), напряжением 6-10кВ и закрытых распределительных устройств (ЗРУ), напряжением 35кВ.

Ключевые слова: катушка индуктивности, отсечка, электродвигатель, ресурсосбережение.

Введение

Вопрос ресурсосбережения материалов в электроэнергетике не раз поднимался на международных советах по большим электрическим системам высокого напряжения – СИГРЭ, оставаясь актуальным и для релейной защиты электрических двигателей от коротких замыканий, без применения дорогостоящих и обладающих значительными весогабаритными параметрами измерительных металлоемких трансформаторов тока (ТТ) и токовых реле с металлическими сердечниками [1;2;3]. Для повышения надежности традиционных токовых защит, выполненных к примеру, как на электромеханической, так и микропроцессорной базе целесообразно применять альтернативные защиты для получения максимального эффекта [4;5]. В качестве альтернативы применения ТТ и соответствующих защит возможно рассмотрение защит на различных магниточувствительных элементах, таких как датчики Холла, магниторезисторы, магнитодиоды, магнитотранзисторы, катушки индуктивности и герконы [6;7;8;9;10;11;12;13;14]. Работы по созданию ресурсосберегающих токовых защит без ТТ с металлическими сердечниками, к примеру на основе герконов ведутся еще с 60-х годов прошлого столетия. Для построения релейной защиты электродвигателей без вышеназванных ТТ авторами были выбраны катушки индуктивности от обычных промежуточных реле, таких как РП-25 [14]. Выбраны они были в связи с тем, что в сравнении с другими магниточувствительными элементами они обладают преимуществами, заключающихся в том, что они выступают в качестве измерительного органа защиты, обладают низкой стоимостью, малыми весогабаритными параметрами в сравнении с измерительными ТТ и токовыми реле с металлическими сердечниками. За последние десятилетия имеется ряд разработанных токовых защит на таких катушках индуктивности [15;16;17;18;19;20]. В данной работе представлен и рассмотрен принцип действия альтернативной токовой защиты с контролем исправности на катушках индуктивности для электрических двигателей, выполненной в виде конструкции и установленной внутри корпуса ячейки КРУ 6-10кВ.

Методы и результаты исследования: целью исследования является создание для защиты высоковольтных электрических двигателей альтернативной токовой защиты (отсечки) с контролем исправности элементов схемы защиты на катушках индуктивности, без использования для этих защит измерительных трансформаторов тока и реле тока с металлическими сердечниками. Методом исследования является сравнение рассмотренных токовых защит электрических двигателей с традиционными защитами, выполненными с использованием трансформаторов тока и реле тока с металлическими сердечниками. Главным фактором является отказ от применения металлоемких, громоздких и дорогостоящих трансформаторов тока и реле тока с металлическими сердечниками.

Результаты и обсуждение. Токовая защита высоковольтных электродвигателей с контролем исправности. Принцип действия данной защиты, представленной в виде конструкции основан на воздействие магнитных потоков Φ , созданных токами в токоведущих шинах ячейки КРУ 6-10кВ, к которой подключен защищаемый электродвигатель на катушку индуктивности 1 (рис.1). Данная конструкция может устанавливаться внутри любых серий ячеек КРУ 6-10кВ и ЗРУ-35кВ, как для всех трёх фаз в одном комплекте, так и для каждой фазы по отдельности в том месте, где имеется максимальное значение магнитных потоков. Применение микроконтроллера 2 обусловлено контролем исправности элементов токовой защиты, осуществляющий поочередную подачу потенциалов от источника постоянного тока 3 и переменного напряжения 4 (рис.1а). При этом его контакты 5 и 6, подключенные к источнику переменного напряжения 4, а также 7 и 8 подключенные к источнику постоянного тока 3 срабатывают одновременно и попарно, то есть к примеру, при замыкании контакта 6 размыкается контакт 8 и по той же аналогии при замыкании контакта 5 размыкается контакт 7.

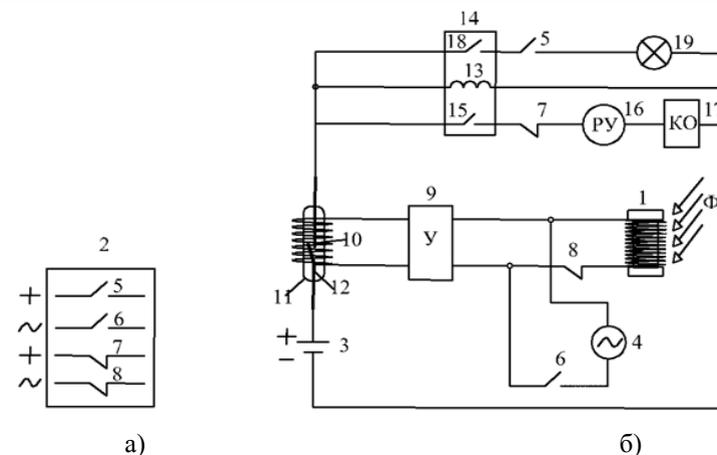


Рисунок 1—Токовая защита электродвигателей с контролем исправности: а) микроконтроллер; б) структурная схема защиты

При коротком замыкании на выводах защищаемого электродвигателя, ток в шинах ячейки комплектного распределительного устройства возрастает, и катушка индуктивности 1, установленная на безопасном по «Правилам устройства электроустановок» расстоянии, равного 0,12м. от данных шин реагирует на изменения магнитного поля, и в ней индуцируется повышенное значение электродвижущей силы (рис. 1б). В силу того, что значение данного снимаемого напряжения с выводов катушки индуктивности 1 имеет значение порядка 5 В, то оно повышается с помощью усилителя напряжения (У) 9 до значения, равного $U=220$ В (при этом коэффициент усиления равен)

$K_y = \frac{U_2}{U_1} = \frac{220}{5} = 44$) и подается на выводы обмотки управления 10 геркона 11. В результате геркон 11 под воздействием магнитного поля, создаваемого обмоткой управления 10 срабатывая замыкает свой контакт 12 и посылает положительный потенциал «+», поступающий с источника постоянного тока 3 на первый вывод обмотки 13 промежуточного реле 14. Данное реле 14 сработав, подаёт потенциал «+» через свой контакт на замыкание 15 и проходит через контакт на размыкание 7 микроконтроллера 2 на первый вывод указательного реле 16, а с него на первый вывод обмотки катушки отключения (КО) 17 выключателя электродвигателя. В результате защищаемый электродвигатель отключается. Срабатывание токовой защиты электродвигателя при этом фиксируется указательным реле (РУ)16.

В нормальном режиме работы электродвигателя, параметры в усилителе напряжения 9 отрегулированы так, чтобы он срабатывал лишь при появлении

на его выводах напряжения, свыше 5 В, а при значении напряжения меньше этого значения, данная защита на отключение электродвигателя не срабатывает.

С целью надежного функционирования данной альтернативной токовой защиты осуществляется непрерывный контроль исправности ее элементов. Выполняется данный контроль с использованием микроконтроллера 2, который осуществляет с заданной выдержкой времени, равной 0,02 с. (с интервалом времени 180 с.) подачу от источника переменного напряжения 4 одного из фазных потенциалов «~» через свой контакт на замыкание 6 на первый вывод усилителя напряжения 9, на второй же вывод данного усилителя 9 через контакт на размыкание 8 микроконтроллера 2 постоянно приходит от источника переменного напряжения 4 другой фазный потенциал «~» (рис. 1а). После этого выходящее с усилителя 9 напряжение повышается им также до значения $U=220$ В (как и в случае при коротком замыкании), коэффициент усиления также равен и подается на выводы обмотки управления 10 геркона 11. Геркон 11 под воздействием магнитного поля, создаваемого обмоткой 10 срабатывая замыкает свой контакт 12 и посылает положительный потенциал, поступающий с источника постоянного тока 3. При этом данный потенциал проходит через обмотку 13 промежуточного реле 14, которое срабатывая замыкает свои контакты на замыкание 15 и 18. Далее положительный потенциал проходит с контакта 15 реле 14, а также через контакт на замыкание 5 микроконтроллера 2 к сигнальной лампе 19, которая загораясь сигнализирует об исправности устройства (рис. 1б). Через интервал времени, равный 180 с. данный контроль исправности устройства повторяется вновь по алгоритму, описанному выше. В случае, если какой-либо элемент устройства имеет повреждение, то к сигнальной лампе 19 положительный потенциал не поступает, и она не горит, что с легкостью обнаруживается обслуживающим персоналом.

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

Выводы

У представленной и рассмотренной альтернативной защиты имеется своя особенность, заключающаяся в том, что токовая защита электродвигателей обладает функцией контроля состояния исправности своих элементов, который осуществляется автоматически и без участия человека. При этом не нарушается режим работы, подключенного к примеру к ячейке КРУ 6-10кВ электродвигателя, так как нет необходимости в отключении его и соответственно нет необходимости выкатывания выключателя (вакуумного, маломасляного и др.) из ячейки. Все конструктивные элементы представленной защиты выполнены из термостойкого, прочного и облегченного пластика, типа

«PLA», распечатанных на 3D принтере. Отсутствие при этом использования в данных защитах токовых реле и измерительных трансформаторов тока (выносных) с металлическими сердечниками, содержащих в своем составе дорогостоящие медь, сталь и высоковольтную изоляцию, имеющих также значительные весогабаритные параметры, отвечает актуальному вопросу электроэнергетики – ресурсосбережению материалов, позволяя тем самым осуществить значительную экономию меди, стали и изоляции, при этом представляя из себя совершенно новый подход в реализации токовой защиты электродвигателей и как результат использовать представленную конструкцию для реализации токовых защит на катушках индуктивности для электродвигателей любого типа и класса напряжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Дьяков А. Ф.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4. – С. 7-16.
- 2 **Казанский В. Е.** Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М.: Энергия, 1969. – 184 с.
- 3 **Казанский В. Е.** Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
- 4 **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
- 5 **Шнеерсон Э. М.** Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
- 6 **Кобус А., Тушинский Я.** Датчики Холла и магниторезисторы / пер. с польск. В. И. Тихонова, К. Б. Макидонский; под ред. О. К. Хомерики. – М.: «Энергия», 1971. – 352 с.
- 7 **Changhe Sun, Yumei Wen, Ping Li, Weisheng Ye, Jin Yang, Jing Qiu, Jing Wen,** Self-Contained Wireless Hall Current Sensor Applied for Two-Wire Zip-Cords, IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 52 Issue: 7, July 2016.
- 8 **Котенко Г. И.** Магниторезисторы. – Л.: Энергия, 1972. – 80 с.
- 9 **Егизарян Г. А., Стафеев В. И.** Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение. – М.: Радио и связь, 1987. – 88 с.
- 10 **Кожович Л. А., Бишоп М. Т.** Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. докл. междунар. науч.-технич. конф. – М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2009. – С. 39-48.
- 11 **Диковский Я. М., Капралов И. И.** Магнитоуправляемые контакты. – М.: Энергия, 1970. – 152 с.

12 **R. Weiss, A. Itzke, J. Reitenspieß, I. Hoffmann, R. Weigel, A Novel, Closed Loop Current Sensor Based on a Circular Array of Magnetic Field Sensors, IEEE Sens. J. 19 (2019) 2517–2524 s.**

13 **A. Elmitwally, E. Gouda, S. Eladawy, Optimal allocation of fault current limiters for sustaining overcurrent relays coordination in a power system with distributed generation Alex Eng J. 54, (4), (2015), 1077–1089 p.**

14 **Басс Э. И. Катужки реле защиты автоматики. – М.: Энергия, 1974. – 80 с.**

15 **Исабеков Д. Д., Kletsel M. Ya., Zhantlesova A. B., Mayshev P. N., Mashrapov B. E. «New filters for symmetrical current components» // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – № 101. – P. 85–91.**

16 **Исабеков, Д. Д. Конструкция токовой защиты / Патент № 36111 Республики Казахстан, опубл. 17.02.2023, бюл. № 7.**

17 **Исабеков Д. Д., Темиртаев И. А. Дифференциальная защита силовых трансформаторов / Патент № 35655 Республики Казахстан, опубл. 20.05.2022, бюл. № 20.**

18 **Исабеков, Д. Д. Конструкция максимальной токовой защиты с блокировкой минимального напряжения / Патент № 36022 Республики Казахстан, опубл. 23.12.22, бюл. № 51.**

19 **Исабеков, Д. Д., Полищук, В. И., Постоянкова, К. Ю. Устройство максимальной токовой защиты / Патент № 2786632 Российской Федерации, опубл. 23.12.2022, бюл. № 36.**

20 **Исабеков Д. Д., Полищук В. И., Кислов А. П., Постоянкова К. Ю. Устройство определения индукции электромагнитного поля / Патент № 2759418 Российской Федерации, опубл. 12.11.2021, бюл. № 32.**

REFERENCES

1 **D'yakov, A. F. E'lektroe`nergetika mira v nachale XXI stoletiya (po materialam 39-j sessii SIGRE`, Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39 session of CIGRE, Paris) [Text]] // E`nergetika za rubezhom. – 2004. – № 4–P. 7–16.**

2 **Kazanskij V. E. Transformatory` toka v sxemax relejnoj zashhity` [Current transformers in relay protection circuits] [Text] – М. : E`nergiya, 1969. – 184 s.**

3 **Kazanskij, V. E. Izmeritel`ny`e preobrazovateli toka v relejnoj zashhite [Current transducers in relay protection] [Text]–М. : E`nergoatomizdat, 1988. – 240 p.**

4 **Andreev, V. A. Relejnaya zashhita i avtomatika sistem e`lektrosnabzheniya: uchebnik dlya vuzov [Relay protection and automation of power supply systems]–Izd. 4-e, perer. i dop. [Text]– Moskva: Vy`sshaya shkola, 2006. – 639 s.**

5 **Shneerson, E`. M. Cifrovaya relejnaya zashhita [Digital relay protection] [Text] – М. : E`nergoatomizdat, 2007. – 549 p.**

6 **Kobus, A., Tushinskij, Ya. Datchiki Xolla i magnitorezistory` / per. s pol'sk. V.I. Tixonova, K.B. Makedonskij; pod red. O.K. Xomeriki [Hall sensors and magnetoresistors] [Text] – М. : «E`nergiya», 1971. – 352 p.**

7 **Changhe Sun, Yumei Wen, Ping Li, Weisheng Ye, Jin Yang, Jing Qiu, Jing Wen, Self-Contained Wireless Hall Current Sensor Applied for Two-Wire Zip-Cords, IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 52 Issue: 7, July 2016.**

8 **Kotenko G. I. Magnitorezistory` [Magnetoresistors] [Text]– Leningrad: E`nergiya, 1972. – 80 p.**

9 **Egiazaryan G. A., Stafeev V. I. Magnitodiody`, magnitotranzistory` i ix primeneniye [Magnetodiodes, magnetotransistors and their applications] [Text] – М. : Radio i svyaz`, 1987. – 88 p.**

10 **Kozhovich L. A., Bishop M. T. Sovremennaya relejnaya zashhita s datchikami toka na baze katushki Rogovskogo [Modern relay protection with current sensors based on the Rogowski coil] // Sovremennyy`e napravleniya razvitiya relejnoj zashhity` i avtomatiki e`nergosistem: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-texnich. konf. [Text] – М. : Nauchno-inzhenernoe informacionnoe agentstvo, 2009. – P. 39-48.**

11 **Dikovskij Ya. M., Kapralov I. I. Magnitoupravlyaemy`e kontakty` [Magnetic contacts] [Text]– Moskva: E`nergiya, 1970. – 152 p.**

12 **R. Weiss, A. Itzke, J. Reitenspieß, I. Hoffmann, R. Weigel, A Novel, Closed Loop Current Sensor Based on a Circular Array of Magnetic Field Sensors, IEEE Sens. J. 19 (2019) 2517–2524 p.**

13 **A. Elmitwally, E. Gouda, S. Eladawy, Optimal allocation of fault current limiters for sustaining overcurrent relays coordination in a power system with distributed generation Alex Eng J. 54, (4), (2015), 1077–1089 p.**

14 **Bass E`. I. Katushki rele zashhity` avtomatiki [Automation protection relay coils] [Text]– Moskva: E`nergiya, 1974. – 80 p.**

15 **Issabekov D. D., Kletsel M. Ya., Zhantlesova A. B., Mayshev P. N., Mashrapov B. E. «New filters for symmetrical current components» [Text] // Electrical Power and Energy Systems– 2018. – №101. – 85-91 p.**

16 **Isabekov D. D. Konstrukciya tokovoj zashhity` / Patent № 36111 Respubliki Kazaxstan, opubl. 17.02.2023, byul. № 7.**

17 **Isabekov D. D., Temirtaev I. A. Differencial`naya zashhita silovy`x transformatorov / Patent № 35655 Respubliki Kazaxstan, opubl. 20.05.2022, byul. № 20.**

18 **Isabekov D. D. Konstrukciya maksimal`noj tokovoj zashhity` s blokirovkoj minimal`nogo napryazheniya / Patent № 36022 Respubliki Kazaxstan, opubl. 23.12.22, byul. № 51.**

19 **Isabekov D. D., Polishhuk V. I., Postoyankova K. Yu.** Ustrojstvo maksimal'noj tokovoj zashhity / Patent №2786632 Rossijskoj Federacii, opubl. 23.12.2022, byul. №36.

20 **Isabekov D. D., Polishhuk V. I., Kislov A. P., Postoyankova K. Yu.** Ustrojstvo opredeleniya indukcii e'lektromagnitnogo polya / Patent № 2759418 Rossijskoj Federacii, opubl. 12.11.2021, byul. № 32.

Принято к изданию 18.09.23.

*Д. Д. Исабеков¹, В. П. Марковский² К. Р. Темирбулатов³

В. И. Аксёнов⁴, А. П. Плевако⁵

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ
Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЭЛЕКТРҚОЗҒАЛТҚЫШҚЫЛАРДЫҢ АЛЬТЕРНАТИВТІК ТОК ҚОРҒАУ

Мақалада авторлар өлшеуіш ток трансформаторларын (ТТ) ферромагниттік өзектері бар және ток релесін пайдаланбай салмағы пен өлшем параметрлері және жоғары құны. Осы қорғаныстар үшін индуктивтік катушкаларды бақылау арқылы жасалған жоғары кернеу электрқозғалтқыштары үшін альтернативтік ресурс үнемдейтін ток қорғанысын құру және жұмыс істеу принципін ұсынады. Қолданылуымен қорғаныстар электрмеханикалық, жартылай өткізгіштік және микропроцессорлық негізде жасалған электрқозғалтқыштарының дәстүрлі қорғаныстарына қатысты қайталау ретінде пайдаланылуы мүмкін және сонымен бірге олар жылдамдық бойынша олардан кем түспейді. Ұсынылған электрқозғалтқыштарын ток қорғау, оның элементтерінің бақылау функциясы бар, ол адамның араласуынсыз автоматты түрде жүзеге асырылады. Ғылыми жаңалықтың негіздемесі мынада: бұл қорғаныс ресурсты үнемдейтін материалдар әсерін береді, сол арқылы мыс пен болатты айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді және электрқозғалтқыштарын ток қорғауды жүзеге асырудағы жаңа тәсілді білдіреді. Ұсынылған қорғаныстың барлық құрылымдық элементтері 3D принтерде басып шығарылған «PLA» сияқты ыстыққа төзімді, берік және жеңіл пластиктен жасалған. Бұл қорғаныстың ресурстарын үнемдеу индуктивтік катушкаларды пайдаланудан тұрады, олар құны бойынша да, салмағы мен өлшемдік

параметрлері бойынша да жоғарыда көрсетілген ТТ-ға қарағанда әлдеқайда арзан және өлшемі мен салмағы бойынша кішірек. Ұсынылған қорғанысты пайдалану индуктивтік катушкаларды орнатылған ұяшықтың өзінде де, оған қосылған электрқозғалтқышы болып табылатын электр қондырғыларының да релелік қорғанысының сенімділігін арттырады.

Ұсынылған ток қорғанысы комплектік тарату құрылғыларының (КТҚ), кернеуі 6-10кВ және жабық тарату құрылғыларының (ЖТҚ), кернеуі 35кВ ұяшықтарының ішіне индуктивтік катушкаларды орнатумен конструкция түрінде жасалған.

Кілтті сөздер: индуктивті катушкалар, тоқты кескіш, электр қозғалтқышы, ресурстарды үнемдеу.

*Д. Д. Исабеков¹, В. П. Марковский² К. Р. Темирбулатов³

В. И. Аксёнов⁴, А. П. Плевако⁵

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

Accepted for publication on 18.09.23

ALTERNATIVE CURRENT PROTECTION FOR ELECTRIC MOTORS

The authors present the creation and principle of operation of resource-saving current protection for electric motors, made with control of serviceability on inductance coils, without using for these protections current transformers (CTs) and current relays with ferromagnetic cores, which have significant weight and size parameters and high cost. Protections with their application can be used as a duplicate in relation to the traditional electric motor protections, made on electromechanical, semiconductor and microprocessor bases and at the same time on the speed of operation is not inferior to them. In the presented current protection of electric motors, possessing function of control of serviceability of its elements, which is carried out automatically without human participation). Justification of scientific novelty is the fact that this protection has the effect of resource-saving of materials, thus allowing to carry out a significant saving of copper and steel, and represent a new approach in the implementation of current protections for electric motors. All structural elements of the presented protection are made of heat-resistant, durable and lightweight plastic of "PLA" type, printed on a 3D printer. Resource efficiency of this protection is the use of inductance coils, which are both

in their cost and in their weight and dimensions much cheaper and smaller in size and weight than the above-mentioned CTs. The use of the presented protection increases the reliability of relay protection, both of the cell, where the inductance coils are installed, and of electric installations, which is an electric motor, connected to it. The proposed current protection is performed in the form of a design with the installation of inductance coils inside the cells of complete switchgear (CS). Voltage 6-10 kV and closed switchgears (CSs), voltage 35 kV.

Keywords: Inductance coil, current cutoff, electric motor, resource saving

МРНТИ 50.05, 50.41

<https://doi.org/10.48081/QSXU8351>

***Т. Б. Керибаяева¹, К. Алибекқызы², К. Т. Кошекөв³,
А. Т. Байдилдина⁴, В. В. Семенюк⁵**

^{1,3}АО «Академия Гражданской Авиации», Казахстан, Алматы

^{2,4}ВКТУ имени Д. Серикбаева, Казахстан, г. Усть-Каменогорск

⁵Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,

Республика Казахстан, г. Петропавловск.

e-mail: talshyn.keribayeva@agakaz.kz

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ГРУПП БПЛА

В работе рассматривается математическая модель определения координат интегрированных групп БПЛА. В статье анализируется сфера применения беспилотных летательных аппаратов. Рассматриваются перспективные области беспилотных авиационных систем, интегрировавшие комплекс дистанционно-управляемых летательных аппаратов. В статье предложены для решения проблем устойчивые структуры интегрированных групп. Исследован метод моделирования интегрированных групп БПЛА, включающий математическое описание и компьютерный эксперимент. Анализируются структуры интегрированных групп и при формировании которых учитывались критерии устойчивости топологии при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий. При получении результатов предложены математические описание и разработаны компьютерные модели интегрированных групп БПЛА соответствующие критериям устойчивости топологии при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий. В работе описана в программе Matlab R2020b построены компьютерные модели роев БПЛА в трехмерной системе координат. Разработка моделей включала три этапа.

Исследованы следующие этапы: кинематическая уравнения, сила взаимодействия, построение компьютерного моделирования. В работе рассмотрены виды топологии интегрированной группы БПЛА.

Цель данной статьи разработать математические модели и построить компьютерные модели роев БПЛА.

Ключевые слова: метод, беспилотные летательные аппараты, управление, сеть, модель, координата.

Введение

В настоящее время масштабно внедряются технологии, соответствующие направлению Индустрия 4.0, на основе применения технологий искусственного интеллекта и инфокоммуникационных систем [1].

В дальнейшем, под таким объединением БПЛА будет пониматься интегрированная группа, или рой, – самоорганизующаяся система, включающая главный управляющий элемент (ведущий) и комплекс управляемых летательных аппаратов (ведомых), коммуницирующих посредством специализированных каналов передачи данных для формирования коллективно-выработанных решений [2,3,4,5].

Применение интегрированных групп БПЛА в различных гражданских приложениях [6] привело к увеличению эффективности решения ряда прикладных задач. Однако имеется ряд проблем, связанных с нарушением структур роев, сложностью преодоления естественных и искусственных препятствий, искажением формы сигналов при передаче информации по причине зависимости от метеорологических параметров и влияния внешних организованных угроз [7,8].

Материалы и методы

Работа состоит из аналитических исследований, разработке математических описаний на основе координат элементов интегрированных групп БПЛА и компьютерном моделировании.

В результате аналитических исследований были предложены структуры интегрированных групп, при формировании которых учитывались критерии устойчивости топологии [9,10] при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий.

Структуры интегрированных групп БПЛА бывают двух видов. К первой группе относятся пространственные, характеризующиеся двумя координатами рой $V = \{x, y\}$:

иерархическая, рисунок 1,а;

круговая, рисунок 1,б.

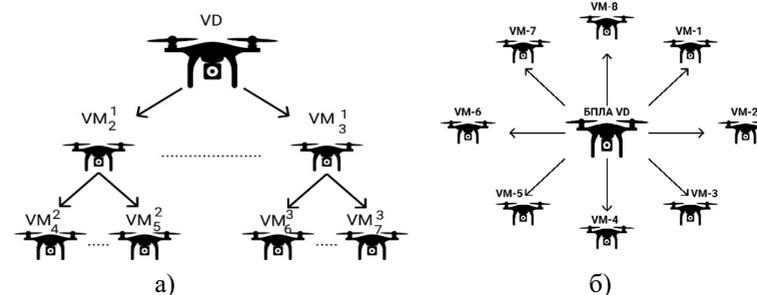


Рисунок 1 – Пространственные структуры интегрированных группы БПЛА

Ко второму виду относятся характеризующиеся тремя координатами объемные рои $V = \{x, y, z\}$:

сферическая, рисунок 2,в;

кубическая, рисунок 2,г.

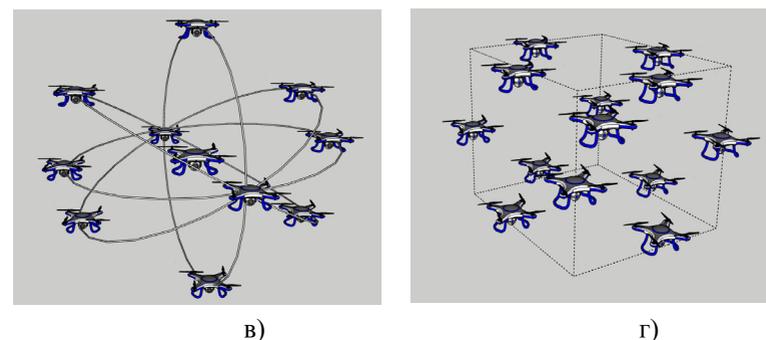


Рисунок 2 – Объемные структуры интегрированных группы БПЛА

Авторы статьи приняли следующие обозначения: VD-ведущий и VM-ведомые БПЛА. Летательные аппараты будем считать материальными точками. Очевидно, если их размеры соизмеримы с расстоянием между ними, то в расчетах необходимо учитывать поправки на их размеры и от какой точки конструкции считается расстояние между объектами.

Математическое описание интегрированных группы БПЛА базируется на следующей зависимости.

$$V = \{VD; (VM_1^1, \dots, VM_j^i, \dots, VM_M^N)\} \quad (1)$$

где $VD = \{x, y, z\}$ координаты ведущего БПЛА;
 VM_j^i – координаты ведомого БПЛА;
 M – количество уровней в структуре интегрированной группы БПЛА;
 i – количество БПЛА в уровне;
 j – порядковый номер уровня структуры;
 порядковый номер БПЛА в заданном уровне.

Рассмотрим математическое описание каждой структуры интегрированной группы, обозначив через d – расстояние между БПЛА, т.е. максимальное возможное расстояние, при котором сигнал управления не искажается.

Иерархическая структура на рисунке 1,а имеет топологию топологию, представленную на рисунке 3. Рассмотрим иерархическую структуры для случая, когда $N = 2, M = 4$

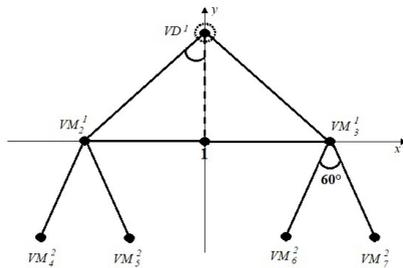


Рисунок 3 – Иерархическая топология интегрированной группы БПЛА при $N = 2, M = 4$

В соответствии с формулой (1), примем следующее условие:

$$[VD^1 - VM_2^1] = [VD^1 - VM_3^1] = [VM_2^1 - VM_4^2] = [VM_2^1 - VM_5^2] = [VM_3^1 - VM_6^2] = [VM_3^1 - VM_7^2] = [VM_4^2 - VM_5^2] = [VM_6^2 - VM_7^2] = d,$$

$$\angle 736 = \angle 524 = 60^\circ$$

т.е. $\Delta VM_2^1 VM_4^2 VM_5^2$ и $\Delta VM_3^1 VM_6^2 VM_7^2$ – равносторонние, тогда расстояние

$$[VM_2^1 - VM_3^1] = 2d.$$

Совместим начало прямоугольной системы координат с VD^1 , т.е. $VD^1(0; 0)$

=> Координаты $VM_2^1 = (-d; 0); VM_3^1 = (d; 0)$ если мы хотим, чтобы расстояние $[VD^1 - VM_2^1] = [VD^1 - VM_3^1] = d$ и при прочих предыдущих предположениях.

Т.е. VD^1 будет лежать на одной прямой с точками и VM_2^1 и VM_3^1 ($\angle \beta = \pi = 180^\circ$).

Если нам нужно поднять VD^1 над VM_2^1 и VM_3^1 то $\angle \beta$ станет меньше 180° и чем меньше он будет, тем больше будет расстояние $[VD^1 - VM_2^1]$ и $[VD^1 - VM_3^1]$.

Пока останавливаемся на случае $\angle \beta = 180^\circ$, тогда математическое описание иерархической структуры будет иметь следующий вид:

$$V^1 = \{VD^1; (VM_2^1, VM_3^1, VM_4^2, VM_5^2, VM_6^2, VM_7^2)\}, \quad (2)$$

где $VD^1 = (0; 0), VM_2^1 = (-d; 0),$

$$VM_3^1 = (d; 0), VM_4^2 = \left(-\frac{3}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right),$$

$$VM_5^2 = \left(-\frac{1}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right), VM_6^2 = \left(\frac{1}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right), VM_7^2 = \left(\frac{3}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right),$$

Далее рассмотрим круговую структуру интегрированной группы БПЛА с топологией $N = 1, M = 8$, представленной на рисунке 4

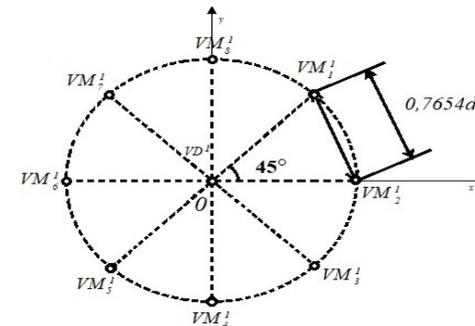


Рисунок 4 – Топология круговая структуры интегрированной группы БПЛА

В соответствии с формулой (1), примем условие, что расстояние между летательными аппаратами равны между собой:

$$[VD^1 - VM_1^1] = [VD^1 - VM_2^1] = [VD^1 - VM_3^1] = [VD^1 - VM_4^1] = [VD^1 - VM_5^1] = [VD^1 - VM_6^1] = [VD^1 - VM_7^1] = [VD^1 - VM_8^1] = d$$

Математическое описание круговой структуры будет иметь следующий вид:

$$V^2 = \{VD^1; (VM_1^1, VM_2^1, VM_3^1, VM_4^1, VM_5^1, VM_6^1, VM_7^1, VM_8^1)\}, \quad (3)$$

Где $VD^1 = (0; 0)$, $VM_1^1 = (\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d)$, $VM_2^1 = (d; 0)$, $VM_3^1 = (\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d)$, $VM_4^1 =$

$$(0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_5^1 = (-\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_6^1 = (-d; 0),$$

$$VM_7^1 = (-\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_8^1 = (0; d).$$

Следует отметить, что расстояния между ведомыми беспилотниками будут меньше, чем расстояние между ведущий беспилотниками. Так расстояние между VM_1^1 и VM_2^1 и на примере координат точки VD^1 и VM_1^1

$$[VM_1^1 - VM_2^1] = \sqrt{(\frac{\sqrt{2}}{2}d - d)^2 + (\frac{\sqrt{2}}{2}d - 0)^2} = \sqrt{\frac{(\sqrt{2}-2)^2}{4}d^2 + \frac{2}{4}d^2} = \frac{d}{2}\sqrt{2-4\sqrt{2}+4+2} = \frac{2d}{2}\sqrt{2-\sqrt{2}} \approx 0,7654d$$

Далее рассмотрим сферическую структуру интегрированной группы БПЛА с топологией $N = 1, M = 10$, представленной на рисунке 5.

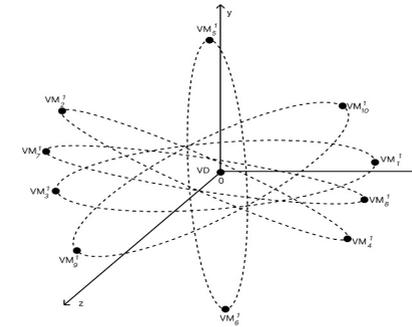


Рисунок 5 – Топология сферической структуры интегрированной группы БПЛА

Предполагаем что начало координат совпадает с VD в $VD^0 = (0; 0)$. Точки $VM_1^1 = (d; 0; 0)$; $VM_2^1 = (0; -d; 0)$; $VM_3^1 = (-d; 0; 0)$; $VM_4^1 = (0; d; 0)$,

так как лежат в плоскости xOy на осях координат соответственно. На плоскости zOx тоже лежат на точки, поэтому их координаты равны $VM_5^1 = (0; 0; d)$; $VM_6^1 = (0; 0; -d)$ Поскольку $VD^1, VM_5^1, VM_7^1, VM_3^1, VM_1^1, VM_6^1, VM_8^1$ лежат в плоскости zOx и при этом точки $VM_{10}^1, VM_2^1, VM_4^1, VM_9^1$ лежат на лучах, составляющие углы с осью Ox $\frac{\pi}{4}$; $\frac{3\pi}{4}$; $\frac{5\pi}{4}$; $\frac{7\pi}{4}$ соответственно.

Математическое описание сферической структуры будет иметь следующий вид:

$$V^3 = \{VD^1; (VM_2^1, VM_3^1, VM_4^1, VM_5^1, VM_6^1, VM_7^1, VM_8^1, VM_9^1, VM_{10}^1)\}, \quad (4)$$

Где $VM_1^1 = (d; 0; 0)$, $VM_2^1 = (0; -d; 0)$, $VM_3^1 = (-d; 0; 0)$,

$$VM_4^1 = (0; d; 0), VM_5^1 = (0; 0; d), VM_6^1 = (0; 0; -d),$$

$$VM_{10}^1 = (\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_7^1 = (-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d),$$

$$VM_9^1 = (-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_8^1 = (\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d)$$

Расстояние между точками VM_1^1 и VM_{10}^1

$$r = [VM_1^1 - VM_{10}^1] = \sqrt{\left(d - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2 + (0-0)^2 + \left(0 - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2} = d\sqrt{(2-\sqrt{2})} \approx 0,7654d$$

$$\begin{aligned} \text{т.е. } [VM_1^1 - VM_{10}^1] &= [VM_5^1 - VM_{10}^1] = [VM_5^1 - VM_7^1] = [VM_7^1 - VM_3^1] = \\ [VM_3^1 - VM_9^1] &= [VM_9^1 - VM_6^1] = [VM_6^1 - VM_8^1] = [VM_8^1 - VM_{11}^1] \approx 0,7654d < d \end{aligned}$$

Рассмотрим кубическую структуры интегрированной группы БПЛА с топологией $N = 1, M = 12$, представленной на рисунке 6.

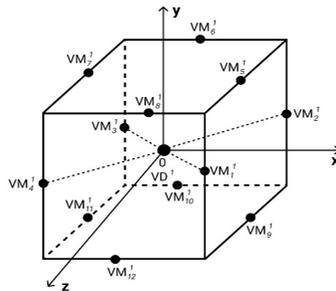


Рисунок 6 – Кубическая топология интегрированных групп БПЛА

Как и в предыдущих схемах VD^1 расположена в начале прямоугольной системы координат $VD^1 = (0; 0; 0)$ VM расположены в серединах ребер куба. Считаем, что диагональ стороны куба равна $2d$. Тогда длина ребра куба равна $\sqrt{2}d$.

Математическое описание иерархической структуры будет иметь следующий вид:

$$V^4 = \{VD^1; (VM_2^1, VM_3^1, VM_4^1, VM_5^1, VM_6^1, VM_7^1, VM_8^1, VM_9^1, VM_{10}^1, VM_{11}^1, VM_{12}^1)\}, \quad (5)$$

Где $VM_1^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right)$, $VM_2^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right)$,

$$VM_3^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right), VM_4^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right),$$

$$VM_5^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_6^1 = \left(0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right),$$

$$VM_7^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_8^1 = \left(0; \frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right),$$

$$VM_9^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_{10}^1 = \left(0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right),$$

$$VM_{11}^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_{12}^1 = \left(0; \frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right).$$

Ближайшее расстояние между VM составляет самое далекое d например между

$$[VM^1 - VM^5] = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}d - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d - 0\right)^2 + \left(0 - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2} = d$$

$$\text{Например: } [VM^5 - VM^9] = \sqrt{2}d$$

На основе математических описаний в программе Matlab R2020b построены компьютерные модели роев БПЛА в трехмерной системе координат. Разработка моделей включала три этапа.

На первом этапе проводился выбор кинематических уравнений, определяющих движение каждого элемента интегрированной группы.

$$\begin{cases} R = R_1 * b_1 + R_2 * b_2 + R_3 * b_3 \\ v = R' = R'_1 * b_1 + R'_2 * b_2 + R'_3 * b_3 \\ a = R'' = R''_1 * b_1 + R''_2 * b_2 + R''_3 * b_3 \end{cases}, \quad (6)$$

где b_1 – радиус-вектор;

R – пройденное расстояние;

v – скорость;
 a – ускорение.

Динамика каждого элемента α роя описывается вторым законом Ньютона

$$F_{\alpha} = m_{\alpha} * a_{\alpha} \quad (7)$$

где F_{α} – силы, действующие на α элемент роя;
 m_{α} – масса элемента роя.

На втором этапе выбиралась формула, описывающая силы взаимодействия F_{α} между элементами роя. Сила взаимодействия между элементом роя α и элементом β представлена формулой (8).

$$F_{\alpha \rightarrow \beta} = [\omega_1 \cdot \exp(-x_1 \cdot \|R\alpha - R\beta\|) - \omega_2 \cdot \exp(-x_2 \cdot \|R\alpha - R\beta\|)] \cdot \frac{R\alpha - R\beta}{\|R\alpha - R\beta\|} \quad (8)$$

где ω_1 и ω_2 описывают притяжение и отталкивание.

Подъемная сила элементов в компьютерном моделировании в данном случае не учитывается, иначе потребуются описание формы, массы и размера каждого БПЛА. Каждый элемент роя представлен как точечная масса, ориентированная в 3D-пространстве.

Третий этап - построение компьютерной модели. В Matlab R2020b созданы массивы, определяющие x, y, z – координаты элементов роя по математическим описаниям интегрированных групп (2) – (5). С помощью функции «scatter3» данные массивы воспроизвели 3D-модели интегрированных групп при $d = 10$ м.

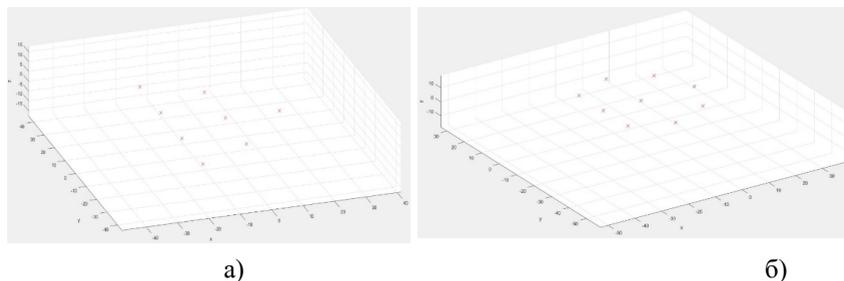


Рисунок 7 – Компьютерные модели структур интегрированных групп БПЛА: а) иерархическая, б) круговая.

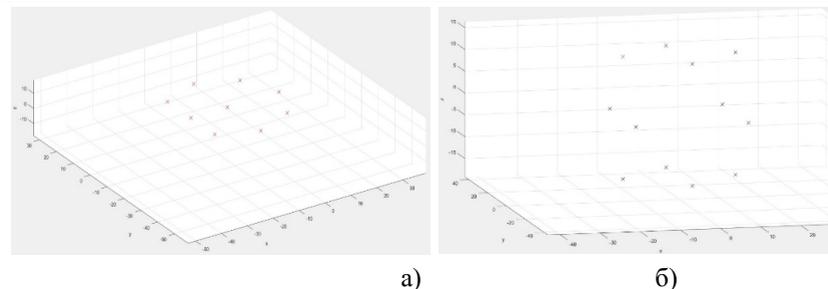


Рисунок 8 – Компьютерные модели структур интегрированных групп БПЛА: а) сферическая, б) кубической

Результаты и обсуждение

Разработаны предложены математические описание и разработаны компьютерные модели интегрированных групп БПЛА соответствующие критериям устойчивости топологии при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий.

Применение разработанных структур позволит интегрированную группу представлять в виде распределенной системы с правильной интерпретацией внешних данных и решать задачи управления ведомыми БПЛА в условиях неопределенности с помощью гибкой адаптации. Топология – схематическое расположение БПЛА в интегрированной группе.

Только одна иерархическая структура интегрированных групп БПЛА может быть многослойной.

Выводы

В данной работе разработана решение математической модели и построены компьютерные модели роев БПЛА.

Используя формулы (1-5) в Matlab R2020b можно моделировать перемещение роев БПЛА по прямым и криволинейным траекториям в пространственной системе координат. Будущие исследования связаны с компьютерным моделированием процесса преодоления искусственных препятствий. При этом практически значимым решением является интегрирование генетических алгоритмов в качестве модуля оптимизации и поиска надежных траекторий движения, минимизирующих вероятность столкновения элементов как между собой, так и с искусственными препятствиями.

Благодарность

Статья выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан на грантовое финансирование фундаментальных и прикладных научных исследований молодых ученых-постдокторантов по

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Lee J., Bagheri B., Kao H. A.** A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. P. 18–23.

2 **Chung, T. H. et. al.** 50 VS. 50 by 2015: Swarm Vs. Swarm UAV Live-Fly Competition at the Naval Postgraduate School // *AUVSI*. 2013. P. 1792–1811.

3 **Yakimenko, O. A., Chung, T. H.** Extending Autonomy Capabilities for Unmanned Systems with CRUSER // *Proceedings of the 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2012)*. 2012. P. 47–49.

4 **Yang, J. H., Kopolka, M., Chung, T. H.** Autonomy balancing in a manned-unmanned teaming (MUT) swarm attack // *Robot Intelligence Technology and Applications 2012*. 2013. P. 561–569. doi: [Electronic resource]: – 10.1007/978-3-642-37374-9_54

5 **Chung, T. H., Burdick, J. W., Murray, R. M.** A decentralized motion coordination strategy for dynamic target tracking // *Robotics and Automation*. 2006. P. 2416–2422. [Electronic resource]: – doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642064

6 **Довгаль, В. А., Довгаль, Д. В.** Модель взаимодействия анализирующих туманно-облачных вычислений для обработки информации о положении беспилотных летательных аппаратов // *Осенние математические чтения в Адыгее: материалы III междунар. науч. конф. Майкоп, 2019*. С. 149–154.

7 **Коваль, Е. Н., Лебедев, И. С.** Общая модель информационной безопасности робототехнических систем // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2013. № 4 (86). С. 153–154.

8 **Муслимов, Т. З., Мунасыпов, Р. А., Хабибуллина, Р. Р.** Интеллектуальная система поддержки принятия решений для группового управления автономными БПЛА // *Proceedings of the 4th International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016)*. Уфа, 2016. С. 193–195.

9 **Иванов Донат Яковлевич.** Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. - // *Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск №3 (116)*, 20211, стр 221-229

10 **W. Sun, M. Tang, L. Zhang, Z. Huo, L. Shu.** A survey of using swarm intelligence algorithms in IoT // *Sensors*. 2020. Vol. 20. P. 1420.

REFERENCES

1 **Lee J., Bagheri B., Kao H. A.** A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. P. 18 – 23.

2 **Chung, T. H. et. al.** 50 VS. 50 by 2015: Swarm Vs. Swarm UAV Live-Fly Competition at the Naval Postgraduate School // *AUVSI*. 2013. P. 1792–1811.

3 **Yakimenko, O. A., Chung, T. H.** Extending Autonomy Capabilities for Unmanned Systems with CRUSER // *Proceedings of the 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2012)*. 2012. P. 47–49.

4 **Yang, J. H., Kopolka, M., Chung, T. H.** Autonomy balancing in a manned-unmanned teaming (MUT) swarm attack // *Robot Intelligence Technology and Applications 2012*. 2013. P. 561–569. doi: 10.1007/978-3-642-37374-9_54

5 **Chung, T. H., Burdick, J. W., Murray, R. M.** A decentralized motion coordination strategy for dynamic target tracking // *Robotics and Automation*. 2006. P. 2416–2422. doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642064

6 **Dovgal', V. A., Dovgal', D. V.** Model' vzaimodejstviya analiziruyushchih tumanno-oblachnyh vychislenij dlya obrabotki informacii o polozenii bespilotnyh letatel'nyh apparatov // *Osenie matematicheskie chteniya v Adygee: materialy III mezhdunar. nauch. konf. Majkop, 2019*. S. 149–154.

7 **Koval', E. N., Lebedev, I. S.** [Obshchaya model' informacionnoj bezopasnosti robototekhnicheskix sistem] // *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki*. 2013. № 4 (86). S. 153–154.

8 **Muslimov, T. Z., Munasyrov, R. A., Habibullina, R. R.** [Intellectual'naya sistema podderzhki prinyatiya reshenij dlya gruppovogo upravleniya avtonomnymi BPLA] // *Proceedings of the 4th International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016)*. Ufa, 2016. S. 193–195.

9 **Ivanov Donat Yakovlevich.** [Methods of swarm intelligence for managing groups of small unmanned aerial vehicles] // *Proceedings of the Southern Federal University. Technical sciences Thematic issue No. 3 (116)*, 20211, pp. 221-229

10 **W. Sun, M. Tang, L. Zhang, Z. Huo, L. Shu.** A survey of using swarm intelligence algorithms in IoT // *Sensors*. 2020 Vol. 20. P. 1420.

Принято к изданию 18.09.23.

*Т. Б. Керибаева¹, К. Алибеккызы², К.Т. Кошекков³, А. Т. Байдилдина⁴, В. В. Семенюк⁵.

^{1,3}АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы»,
Қазақстан Республикасы, қ. Алматы;

^{2,4}Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Қазақстан Республикасы, қ. Өскемен;

⁵М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан Университеті,

Қазақстан Республикасы, қ. Петропавл.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

БІРІКТІРІЛГЕН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ ТОПТАРЫН МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІ

Жұмыста біріктірілген ҰҰА топтарының координаталарын анықтаудың математикалық моделі қарастырылған. Мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарының ауқымы талданады. Қашықтан басқарылатын ұшақтар кешенін біріктірген ұшқышсыз ұшу жүйелерінің перспективалық бағыттары қарастырылады. Мақалада проблемаларды шешу үшін біріктірілген топтардың тұрақты құрылымдары ұсынылады. Математикалық сипаттаманы және компьютерлік экспериментті қоса алғанда, ҰҰА біріктірілген топтарын модельдеу әдісі зерттелді. Біріктірілген топтардың құрылымдары талданды және олардың қалыптасуында қозғалыстар кезінде топологияның тұрақтылығының критерийлері және VLC технологиялары негізінде құрылған деректерді беру арналарының сенімділігі ескерілді. Нәтижелерді алу кезінде математикалық сипаттама ұсынылады және қозғалыстар кезінде топологияның тұрақтылығы және VLC технологиялары негізінде құрастырылған деректерді беру арналарының сенімділігі критерийлеріне сәйкес келетін интеграцияланған ҰҰА топтарының компьютерлік үлгілері әзірленді. Қағазда Matlab R2020b бағдарламасында үш өлшемді координаттар жүйесіндегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының компьютерлік үлгілері салынған. Модельді әзірлеу үш кезеңді қамтыды.

Келесі кезеңдер зерттелді: кинематикалық теңдеулер, әсерлесу күші, компьютерлік модельдеуді құру. Жұмыста біріктірілген ҰҰА тобының топологиясының түрлері қарастырылған.

Бұл мақаланың мақсаты математикалық модельдерді әзірлеу және ұшқышсыз ұшу аппараттарының компьютерлік модельдерін құру болып табылады.

Кілтті сөздер: әдіс, ұшқышсыз ұшу аппараттары, басқару, желі, модель, координат.

*Т. В. Keribayeva¹, К. Alibekkyzy², Koshekov K.³, Baidildina A. T⁴,
Semenyuk V. V⁵

^{1,3}Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty

^{2,4}EKTU, Serikbayeva D, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

⁵North Kazakhstan State University named after Manash Kozybayev,

Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk

Accepted for publication on 18.09.23

MODELING METHOD OF INTEGRATED UAV GROUPS

The paper considers a mathematical model for determining the coordinates of integrated UAV groups. The article analyzes the scope of unmanned aerial vehicles. The promising areas of unmanned aerial systems, which have integrated a complex of remotely controlled aircraft, are considered. The article proposes stable structures of integrated groups to solve problems. A method for modeling UAV integrated groups, including a mathematical description and a computer experiment, has been studied. The structures of integrated groups were analyzed and the formation of which took into account the criteria for topology stability during movements and the reliability of data transmission channels built on the basis of VLC technologies. When obtaining the results, a mathematical description is proposed and computer models of integrated UAV groups are developed that meet the criteria for topology stability during movements and reliability of data transmission channels built on the basis of VLC technologies. The paper describes in the Matlab R2020b program computer models of UAV swarms in a three-dimensional coordinate system are built. Model development included three stages.

The following stages have been studied: kinematic equations, interaction force, construction of computer simulation. The paper considers the types of topology of the integrated UAV group.

The purpose of this article is to develop mathematical models and build computer models of UAV swarms.

Keywords: method, unmanned aerial vehicles, control, network, model, coordinate.

<https://doi.org/10.48081/JFAV2785>

***Е. Н. Колесников¹, Н. Ш. Жуматаев², А. Н. Новожилов³,
Д. М. Рахимбердинова⁴, Т. А. Новожилов⁵**

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

⁵Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск

e-mail : jeka89_pvl@mail.ru

МАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА С ДВУМЯ МАГНИТОПРОВОДАМИ

В данной статье рассматривается вопрос разработки магнитного преобразователя тока и метода определения его порога срабатывания при известном токе срабатывания защиты. В нем используется контактная система от реле тока РТ-40, два магнитопровода и система крепежных стоек, обеспечивающих его крепление на защищаемой электроустановке в непосредственной близости от токоведущей шины. При этом шина закрепляется на опорных изоляторах и имеет дополнительную накладную изоляцию. В магнитном преобразователе тока (МПП) регулировка порога срабатывания осуществляется путем перемещения его магнитной системы относительно шины с током и рычага. Для определения расстояния h_3 между магнитопроводами и шиной с током, а также положения рычага для выставления порога срабатывания, определяемое на шкале величиной $m_{\text{МПП}}$ при известном токе срабатывания с одной стороны, используется зависимость $B_{\delta, \text{сз}} = f(m_{\text{МПП}})$, получаемая экспериментальным путем, где $B_{\delta, \text{сз}}$ – индукция магнитного поля в воздушном зазоре, при которой происходит срабатывание МПП. С другой стороны, с помощью программного комплекса ELCUT для задаваемых величин h_3 и $m_{\text{МПП}}$ моделирования индукции B_{δ} . Требуемые для установки порога срабатывания величины h_3 и $m_{\text{МПП}}$ получаются при равенстве величин B_{δ} и $B_{\delta, \text{сз}}$.

Ключевые слова: Магнитный преобразователь тока, элементы реле, магнитная система реле, контактная система реле, порог срабатывания, программный комплекс ELCUT.

Введение

Как известно, для реализации токовых защит [1,2] электрических сетей и электроустановок могут использоваться такие устройства как плавкие предохранители [3], автоматические выключатели [2,3], первичные максимальные токовые реле косвенного действия типа РЭВ-570 [1], трансформаторы тока (ТТ) [1,2], катушка Роговского [4] и магнитные трансформаторы тока (МТТ) [5] с вторичными токовыми реле косвенного действия [1,6], магнитные преобразователи тока (МПП) [7], оптоволоконные, гальваномагнитные и магниторезистивные преобразователи [4], а также герконы [8]. Поэтому область использования токовых защит определена общеизвестными достоинствами и недостатками этих устройств.

Анализ показывает, что одной из наиболее дешевых и простых в установке является токовая защита, в которой используется МПП, изготавливаемый на базе элементов токового реле РТ-40 [7]. Такой МПП может устанавливаться на токоведущую шину с помощью изоляции в виде ленты из стеклоткани, пропитанной лаком или эпоксидной смолой. Реализация защит с их использованием не требует дополнительных реле, так как контакты МПП могут подключаться непосредственно к цепям управления магнитным пускателем или автоматическим выключателем. Однако, его нельзя установить на шину, размеры которой превышают окна магнитопровода токового реле РТ-40. Что, несомненно, ограничивает область его применения.

Материалы и методы

Конструкция МПП. Этому недостатка лишена конструкция МПП, приведенная на рисунке 1,а, где в качестве несущего элемента используется алюминиевая стойка 1 имеющая Н – образную форму. С одной стороны на этой стойке монтируются контактная система 2, а с другой стороны на ней с помощью четырех винтов 3 закрепляются магнитопроводы 4 и 5.

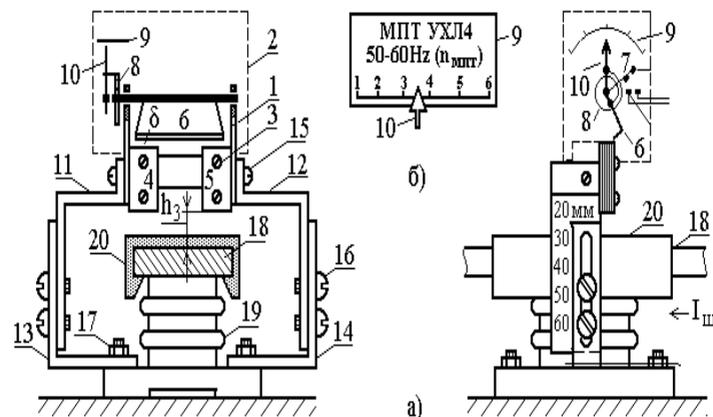


Рисунок 1 – Конструкция и установка МПТ

В качестве контактной системы этого МПТ используется контактная система от токового реле серии РТ-40. Подвижная часть этой системы состоит из Г-образного якоря 6 и указателя 7, связанных между собой с помощью спиральной пружины 8, а также шкалы 9 и подвижных контактов 10. С помощью указателя 7 осуществляется натяжение пружины 8 в контактной системе. Величина ее натяжения определяет порог срабатывания МПТ. При этом порог срабатывания определяется величиной $m_{мп}$ на шкале 9.

В соответствии с [9] такая контактная система срабатывает в том случае, когда величина B_{δ} индукции в воздушном зазоре достигнет величины $B_{\delta,ср}$ при заданном положении указателя 7, которое на шкале 9 определено величиной $m_{мп}$. Разметка шкалы 9 показана на рисунке 1,б. Такая зависимость в численном виде при величине воздушного зазора $\delta = 0,7$ мм якорем 6 и магнитопроводами 4 и 5 приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Величина индукции B_{δ} магнитного поля, приводящая к срабатыванию МПТ при различном положении рычага 10

Величины $m_{мп}$ на шкале МПТ	1	2	3	4	5	6
Индукция $B_{\delta,ср}$ перед срабатыванием реле, Тл	0,060	0,075	0,094	0,109	0,128	0,143

Алюминиевая стойка 1 на электрической установке закрепляется с помощью системы стоек 11, 12 и 13, 14 из алюминия, которые между

собой скрепляются с помощью винтов 15, а также винтов 16 и гаск 17. Что обеспечивает возможность перемещения алюминиевой стойки 1 с контактной системой 2 и магнитопроводами 4 и 5 относительно токоведущей шины 18 в достаточно широких пределах, а, следовательно, влияет на величину порога срабатывания. Токоведущая шина 18 к защищаемой электрической установке крепится с помощью опорного изолятора 19. Расстояние h_3 от шины 18 до магнитопроводов 4 и 5 отмеряется по шкале, нанесенной на стойку 11. Для того, чтобы исключить возможность возникновения электрического пробоя между шиной 18 с током и металлическими элементами конструкции МПТ на этой шине закрепляется изоляция в виде пластины 20 П – образной формы из пластика.

Таким образом, в таком МПТ в зависимости от номинального напряжения и мощности защищаемой электроустановки магнитопроводы и шина могут иметь произвольные форму и размеры, а также располагаться на произвольном расстоянии h_3 друг от друга. При этом срабатывание МПТ происходит в том случае, когда индукции B_{δ} магнитного поля в воздушном зазоре δ между якорем 6 и магнитопроводами 4 и 5 достигнет величины $B_{\delta,ср} = f(m_{мп})$ а ток в шине достигнет величины I_p .

Определение порога срабатывания МПТ. Определение тока I_p срабатывания МПТ базируется на моделировании индукции магнитного поля в воздушном зазоре B_{δ} при известных размерах магнитопроводов 4,5 и шины 18, а также расстояния между ними. Однако, в соответствии с [10-12], моделирование индукции B_{δ} с учетом всех этих требований представляет достаточно сложную математическую задачу. Значительно проще для этих целей воспользоваться программным комплексом ELCUT [13] с использованием расчетной модели МПТ, приведенной на рисунке 2.

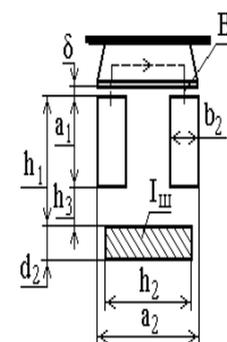


Рисунок 2 – Расчетная схема МПТ

Процесс определения тока $I_{ср}$ срабатывания МПТ гораздо проще продемонстрировать на конкретном примере. В качестве примера используется МПТ, размеры элементов магнитной системы которого и токоведущей шины приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Размеры элементов магнитной системы МПТ с токоведущей шиной

Размеры элементов магнитопровода МПТ	Величина
Длина a_1 магнитопровода, мм	30
Расстояние a_2 между магнитопроводами, мм	48
Ширина магнитопровода, b_2 мм	5 и 15
Толщина шины с током, h_2 мм	10
Ширина шины с током, h_1 мм	38
Толщина d_1 якоря МПТ в исходном положении, мм	0,016
Величина δ воздушного зазора, мм	0,6

Картинки магнитных полей, полученных с помощью программного комплекса ELCUT для расстояний $h_3 = 5$ мм и $h_3 = 40$ мм приведены на рисунках 3,а и 3,б.

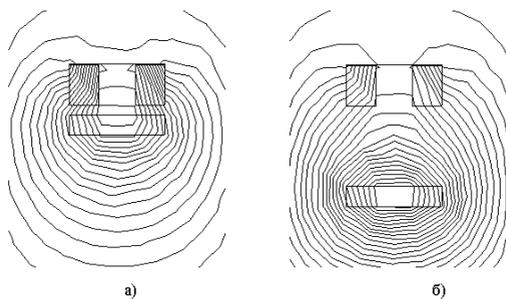


Рисунок 3 – Картинки магнитных полей при $h_3 = 5$ мм (а) и $h_3 = 40$ мм (б)

Результаты и обсуждения

Расчетные значения величин токов, при которых происходит срабатывание МПТ в зависимости от расстояния h_3 между торцами магнитопроводов и шиной с током, а также положения рычага 7 задающего порог срабатывания определяемого величины $m_{мпт}$ на шкале МПТ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения величин токов, при которых происходит срабатывание МПТ

Величины $m_{мпт}$ на шкале МПТ	1	2	3	4	5	6
Расчетный ток в шине $I_{ш}$ при $h_3 = 5$ мм А	4400	5500	6893	7993	9387	10487
Расчетный ток в шине при $h_3 = 20$ мм А	7100	8875	10650	12898	15147	16926
Расчетный ток в шине при $h_3 = 40$ мм А	12500	15625	19583	22708	26667	29791

Зависимости $I_{ш} = f(m_{мпт})$, построенные по данным из таблицы 3, для h_3 равных 5мм, 20мм и 40мм, приведены на рисунке 4 в виде линий 1, 2 и 3. Таким образом, если известна величина тока $I_{с,з}$ срабатывания защиты, то в этом случае положение $m_{с,з}$ рычага 7 указывающего порог срабатывания определяется так, как показано на рисунке 4. Из этого рисунка видно, что, например, при токе $I_{с,з}$ равном 21000А этот рычаг по шкале следует устанавливать в положение $m_{с,з} = 3,45$. При этом ток срабатывания для максимальной токовой защиты и токовой отсечки по математическим выражениям приведенным [1-2, 14-15].

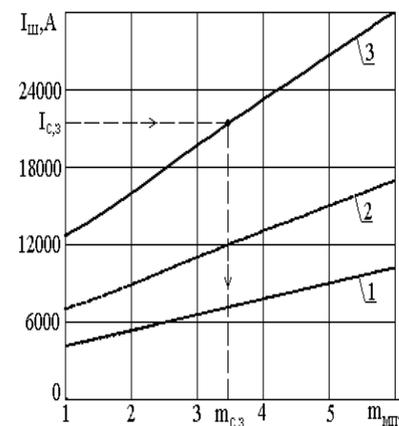


Рисунок 4 – Схема определения положения указателя порога срабатывания МПТ

Информация о финансировании

Это исследование было профинансировано Министерством Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (ИРН АР14972779).

Выводы

Предложенный магнитный преобразователь тока с двумя магнитопроводами позволяет разрабатывать простые и дешевые защиты с токами срабатывания от 4400 А до 30000 А.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А. Основы техники релейных защит. – М. : Изд-во Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
- 2 Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Изд-во Высшая школа, 1991. – 495 с.
- 3 Чунихин А. А. Электрические аппараты. – М.: Изд-во Энергия, 1975. – 647 с.
- 4 Новожилов Т. А, Новожилов А. Н., Волгина Е. М. Измерение переменного тока в проводнике для нужд релейной защиты // Омский научный вестник. – 2016. – № 3 (147). – С. 67.
- 5 Новожилов Т. А., Новожилов А. Н., Волгина Е. М. Область использования магнитных трансформаторов тока в электроэнергетике // Омский научный вестник. – 2018. – №3. – С. 67–73.
- 6 Алексеев В. С. Реле защиты / Алексеев В. С., Варганов Б. И., Панфилов Б. И., Розенблюм Р. З. – Л.: Изд-во Энергия, 1976. – 464 с.
- 7 Novozhilov A. N., Assainova D. K., Zhumataev N. Sh., Novozhilov T. A. Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.
- 8 Новожилов Т. А., Новожилов А. Н., Попов А. П., Малинин Н. В. Максимальная токовая защита на герконе // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 251-253.
- 9 Novozhilov A. N., Assainova D. K., Zhumataev N. Sh., Novozhilov T. A. Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – №6. – P. 579-582.
- 10 Гринберг Г. А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений / Гринберг Г. А. – М. : Изд-во АН СССР, 1948. – 836с.
- 11 Туровский Я. Электромагнитные расчеты элементов электрических машин / Туровский Я. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, – 1986. – 201с.
- 12 Novozhilov A. N., Novozhilov T. A., Volgina E. M., Kolesnikov E. N. Magnetic field scattering of a transformer winding on a round rod for a safety relay // Russian Engineering Research, 2020, – № 9. – P. 710–714.
- 13 ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.5. Руководство пользователя.

[Электронный ресурс] / ООО «Тор». – Санкт-Петербург, 2021. М. : – URL0 [Electronic resource]: – : https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf.

14 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М. : Изд-во Высшая школа, – 1967. – 775с.

15 Yazdani-Asrami M., Mirzaie M., Shayegani Akmal A., Gholman S.A. Life estimation of distribution transformers under non-linear loads using calculated loss by 2D-FEM // Journal of electrical systems, 2010, – № 7(1). – P. 1444–1451.

REFERENCES

- 1 Berkovich, M. A., Molchanov, V. V., Semenov, V. A. Osnovy tekhniki relejnyh zashchit [Fundamentals of relay protection technology]. – Moscow : Izd-vo Energoatomizdat, 1984. – 376 p.
- 2 Andreev, V. A. Relejnaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. – Moscow : Izd-vo Vysshaya shkola, 1991. – 495 p.
- 3 Chunihin, A. A. Elektricheskie apparaty [Electrical devices]. – Moscow : Izd-vo Energiya, 1975. – 647 p.
- 4 Novozhilov T. A., Novozhilov A. N., Volgina E. M. Izmerenie peremennogo toka v provodnikedlya nuzhd relejnoj zashchity [Measurement of alternating current in a conductor for the needs of relay protection] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2016. – № 3 (147). – p. 67.
- 5 Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Volgina, E. M. Oblast' ispol'zovaniya magnitnyh transformatorov toka v elektroenergetike [The field of use of magnetic current transformers in the electric power industry] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2018. – №3. – P. 67–73.
- 6 Alekseev, V. S. Rele zashchity [Protection relay] / Alekseev V. S., Varganov B. I., Panfilov B. I., Rozenblyum R. Z. – L. : Izd-vo Energiya, 1976. – 464 p.
- 7 Novozhilov A.N., Assainova D.K., Zhumataev N.Sh., Novozhilov T.A. Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.
- 8 Novozhilov, T. A., Novozhilov, A. N., Popov, A. P., Malinin, N. V. Maksimal'naya tokovaya zashchita na gerkone [Maximum current protection on reed switch] // Omskij nauchnyj vestnik. – 2015. – № 3 (143). – P. 251–253.
- 9 Novozhilov, A. N., Assainova, D. K., Zhumataev, N. Sh., Novozhilov T.A. Switched magnetic current transformer // Russian Engineering Research, 2022, – № 6. – P. 579–582.
- 10 Grinberg, G. A. Izbrannye voprosy matematicheskoy teorii elektricheskikh i magnitnyh yavlenij [Selected questions of the mathematical theory of electric and magnetic phenomena] / Grinberg G.A. – Moscow : Izd-vo AN SSSR, 1948. – 836 p.

11 **Turovskij, Y. A.** Elektromagnitnye raschety elementov elektricheskikh mashin [Electromagnetic calculations of elements of electric machines] / Turovskij YA. – Moscow : Izd-vo Energoatomizdat, – 1986. – 201 p.

12 **Novozhilov, A. N., Novozhilov, T. A., Volgina, E. M., Kolesnikov, E. N.** Magnetic field scattering of a transformer winding on a round rod for a safety relay // Russian Engineering Research, 2020, – № 9. – P. 710-714.

13 ELCUT. Modelirovanie elektromagnitnyh, teplovyh i uprugih polej metodom konechnykh elementov. Versiya 6.5. Rukovodstvo pol'zovatelya. [Elektronnyj resurs] / ООО «Тор». – Sankt-Peterburg, 2021. URL:[Electronic resource]: – https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf.

14 **Bessonov, L. A.** Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki [Theoretical foundations of electrical engineering]. – Moscow : Izd-vo Vysshaya shkola, 1967. – 775 p.

15 **Yazdani-Asrami M., Mirzaie M., Shayegani Akmal A., Gholman S. A.** Life estimation of distribution transformers under non-linear loads using calculated loss by 2D-FEM // Journal of electrical systems, 2010, – №7(1). – P. 1444–1451.

Принято к изданию 18.09.23.

**E. N. Kolesnikov¹, N. Sh. Zhumataev², A. N. Novozhilov³,*

D. M. Rakhimberdinova⁴, T. A. Novozhilov⁵

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

⁵Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Ресей, Омбы қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЕКІ МАГНИТТІК ӨТКІЗГІШ БАР МАГНИТТІК ТОК ТҮРЛЕНДІРГІШІ

Бұл мақалада токтың магниттік түрлендірілуін жасау және белгілі қорғаныс тогы кезінде оның іске қосылу шегін анықтау әдісі қарастырылады. Ол RT-40 ток релесінің байланыс жүйесін, екі магниттік сымды және оны қорғалған электр қондырғысында ток өткізгіш шинаға жақын жерде бекітуді қамтамасыз ететін бекіту тіректері жүйесін пайдаланады. Бұл ретте шина тірек оқшаулағыштарға бекітіледі және қосымша үстеме оқшаулағышы болады. Магниттік ток түрлендірілуінде (MPT) іске қосу шегін реттеу оның магниттік жүйесін шинаға және рычагқа қатысты жылжыту арқылы жүзеге асырылады. Магниттік өткізгіштер мен ток шинасы арасындағы қашықтықты, сондай – ақ бір жағынан

белгілі іске қосу тогындағы шама шкаласында анықталған іске қосу шегін орнатуға арналған тұтқаның орнын анықтау үшін эксперименттік жолмен алынған тәуелділік қолданылады, мұнда MPT іске қосылатын ауа саңылауындағы магнит өрісінің индукциясы. Екінші жағынан, берілген шамалар мен индукцияны модельдеуге арналған elcut бағдарламалық жасақтамасының көмегімен . Іске қосу шегін орнату үшін қажетті шамалар және шамалар тең болған кезде алынады.

Кілтті сөздер: магниттік ток түрлендіргіші, реле элементтері, магниттік реле жүйесі, байланыс реле жүйесі, іске қосу шегі, ELCUT бағдарламалық кешені.

**E. N. Kolesnikov¹, N. Sh. Zhumataev², A. N. Novozhilov³,*

D. M. Rakhimberdinova⁴, T. A. Novozhilov⁵

^{1,2,3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁵Omsk State Technical University, Russia, Omsk

Accepted for publication on 18.09.23

MAGNETIC CURRENT CONVERTER WITH TWO MAGNETIC CONDUCTORS

This article discusses the development of a magnetic current converter and a method for determining its trigger threshold at a known protection trigger current. It uses a contact system from the RT-40 current relay, two magnetic cores and a system of mounting racks that ensure its attachment to a protected electrical installation in the immediate vicinity of the current-carrying bus. In this case, the tire is fixed to the support insulators and has an additional overhead insulation. In a magnetic current converter (MPT), the threshold of operation is adjusted by moving its magnetic system relative to the current bus and lever. To determine the distance between the magnetic cores and the bus with a current, as well as the position of the lever for setting the trigger threshold, determined on a scale by the value at a known trigger current on the one hand, the dependence obtained experimentally is used, where is the induction of the magnetic field in the air gap at which the MPT is triggered. On the other hand, using the ELCUT software package for set values and induction modeling. The values required to set the trigger threshold and are obtained when the values and are equal .

Keywords: Magnetic current converter, relay elements, magnetic relay system, relay contact system, trigger threshold, ELCUT software package.

<https://doi.org/10.48081/DRVK7952>

***Н. Ю. Колесниченко¹, С. Ф. Крутоус²**

^{1,2}Екибастузский инженерно-технический институт

имени академика К. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Екибастуз

e-mail : kollesnichenko-n-yu@eiti.edu.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА

В статье изложены понятия о феррорезонансной цепи, о причинах возникновения феррорезонансного явления происходящего в электрической сети. Исследованы электрические цепи, в которых последовательно подключены катушка содержащая ферромагнитный сердечник, конденсатор. Эти испытания проведены с помощью лабораторного комплекса «Теория электрических цепей», а также представлено описание этих устройств блочно-модульного типа. При проведении расчетов по напряжению и току устоявшегося переходящего режима в электрической цепи использован метод эквивалентных синусоид. Составлена схема замещения исследуемой цепи, показаны векторные диаграммы рассматриваемой электрической цепи, характеристики в нелинейной цепи с указанием на графиках зависимости. Представлены экспериментальные вольтамперные характеристики электрической цепи при увеличении и при уменьшении напряжения, выполнен расчет реактивного сопротивления, с последующей установкой закороченной перемычки в схеме участка электрической цепи с конденсатором. Используя экспериментальную характеристику катушки индуктивности и расчетную зависимость тока от напряжения высчитаны зависимости по формулам. И в завершении на одном полж графика построены экспериментальные вольтамперные характеристики цепи (при возрастании и убывании) и рассчитанная зависимость тока от напряжения. Исследованы и сделаны выводы по результатам проделанных измерений.

Ключевые слова: явление феррорезонанса, катушка индуктивности, ферромагнитный сердечник, электрическая цепь, схемы замещения, ток, напряжение.

Введение

Большое внимание представляет явление феррорезонанса, зачастую применяемое при разработке многочисленных приборов автоматики, а также в установке феррорезонансных стабилизаторов напряжения. Феррорезонансной цепью называют, цепь, состоящей из нелинейной катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником и конденсатора.

Возникновение феррорезонансного явления происходит в электрической сети при оперативном переключении, при неполнофазном включении, при перемежающейся дуговой замыкании на землю в момент взаимодействия нелинейной индуктивности намагничивания магнитопровода трансформатора с ёмкостью электроустановок электрической сети. При прохождении феррорезонанса появляется продолжительное перенапряжение на шине распределительного устройства, небезопасное для разрядника, ограничителя перенапряжения, а также перегрузка по току в обмотках электромагнитного трансформатора, под воздействием которого происходит повреждение изоляции и возникновение витковых замыканий, что влечет к взрыву трансформатора и пожарному очагу в распределительных устройствах электростанций и подстанций [1,2].

В нашем государстве вопросу повреждаемости электрооборудования в электрических сетях согласно обстоятельству феррорезонансного явления уделяется интерес со времен прошлого столетия. Причинами феррорезонансного явления послужило повышение нагрузок потребителей, обусловившее строительство и увеличение существующих электрических распределительных сетей, в которых возможно возникновение режимов работы, приводящих к существованию феррорезонансных явлений [3-5].

В зарубежных странах этой важной проблеме по повреждению электрооборудования в электрической сети из-за феррорезонансного явления подтверждено разработками, проведенные в США, Канаде, Франции: Soudack A.C., Marti J.R., Mozzaffari S., Henschel S. [6,7].

Материалы и методы

Исследования электрической цепи, в которых последовательно подключены катушка содержащая ферромагнитный сердечник, конденсатор проводились с помощью лабораторного комплекса «Теория электрических цепей». Источником синусоидального напряжения частотой $f=50$ Гц является блок «Функциональный генератор». Необходимые параметры для измерения электрической цепи расположены в блоке «Измеритель фазы». Катушка с ферромагнитным сердечником находится в блоке «Нелинейные элементы», а конденсатор - «Реактивные элементы».

При расчетах напряжений и токов установившегося периодического режима в электрической цепи используем метод эквивалентных синусоид.

Пренебрегая потоками рассеяния, примем схему замещения катушки в виде, показанном на рисунке 1 [8].

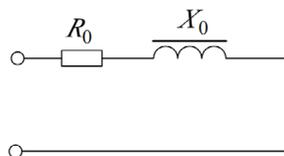


Рисунок 1– Схема замещения катушки

Тогда, схема замещения исследуемой цепи примет вид, показанный на рисунке 2.

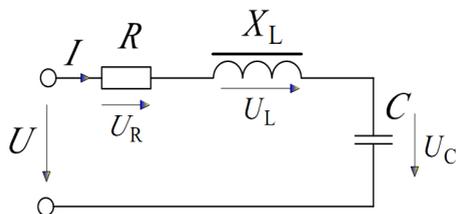


Рисунок 2– Схема замещения исследуемой цепи

Определим реактивные сопротивления катушки в соответствии принятому допущению:

$$X_L(I) = U_L(I) / I. \quad (1)$$

Согласно рисунку 3 взаимосвязь $U_L(I)$ представляет нелинейную функцию тока I . Тогда зависимость $X_L(I)$ равным образом иллюстрирует нелинейную функцию тока.

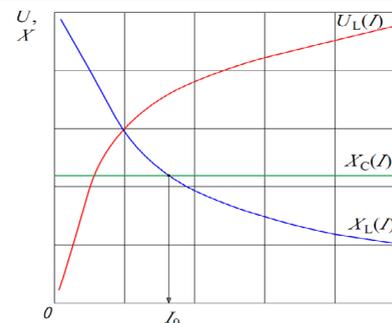


Рисунок 3 – Характеристики в нелинейной цепи

Изменяя входное напряжение, имеется возможность добиться тока $I = I_0$, при котором $X_L(I_0) = X_C(I_0)$. В цепи возникает резонанс. В отличие от линейной цепи, состояние резонанса достигается изменением величины приложенного напряжения. Это явление называется феррорезонансом [8].

На рисунке 4 показана векторная диаграмма цепи.

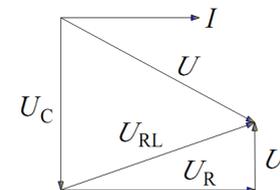


Рисунок 4 – Векторная диаграмма цепи

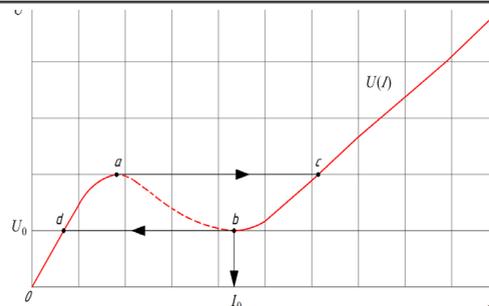
На основе этой диаграммы получим соотношения, связывающие токи и напряжения исследуемой цепи:

$$U_L(I) = \sqrt{(I \cdot R)^2 - (U_{RL}(I))^2}, \quad (2)$$

$$U_{LC}(I) = |U_L(I) - I X_C|, \quad (3)$$

$$U(I) = \sqrt{(U_{LC}(I))^2 + (I \cdot R)^2}. \quad (4)$$

На рисунке 5 представлен график взаимосвязи $U(I)$.

Рисунок 5 – График зависимости $U(I)$

Промежуток ab кривой $U(I)$ имеет отрицательное дифференциальное сопротивление, в результате чего считается неустойчивым. Когда изменяют входное напряжение появляются в виде скачков перемены тока от точек: a к c или b к d . Режиму феррорезонанса будет соответствовать точка b , при этом входное активное сопротивление цепи $R=U_0/I_0$ [8].

Схема исследуемой цепи показана на рисунке 6. С помощью регулятора «Частота» модуля «Функциональный генератор», получим значение частоты $f=50$ Гц. Выставим ручкой «Амплитуда» входное напряжение $U=0$ В. В модуле «Реактивные элементы» переключим на конденсаторе ёмкость $C=69$ мкФ.

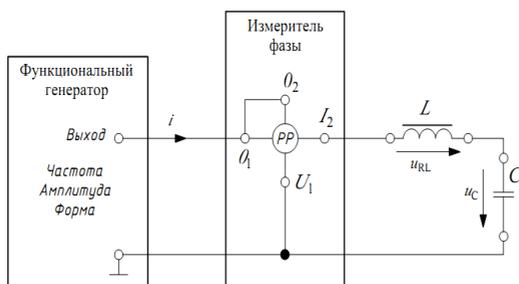


Рисунок 6 – Схема исследуемой цепи

Экспериментальные вольтамперные характеристики цепи при увеличении и при уменьшении напряжения представлены в таблице 1.

Таблица 1– Результаты измерений

При увеличении напряжения								
$I_1, \text{мА}$	0	20	30	40	53	61	226	255
$U_1, \text{В}$	0	0,8	1,9	2,8	3,4	3,6	3,8	4,3
При уменьшении напряжения								
$I_2, \text{мА}$	245	228	212	200	182	50	41	0
$U_2, \text{В}$	4,1	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	2,8	0

Выполним расчет реактивного сопротивления по формуле:

$$X_C = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C), \quad (5)$$

$$X_C = 1/(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 69 \cdot 10^{-6}) = 46,155 \text{ Ом.}$$

Закоротим в схеме участок цепи с конденсатором. Плавно увеличивая величину приложенного напряжения, получим зависимости $U_{RL}(I)$, $P_{RL}(I)$, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2- Результаты измерений

$I, \text{мА}$	0	21	41	61	71	82	98	129	166	229
$U_{RL}, \text{В}$	0	1,5	4	5,5	6,1	6,6	7,1	7,9	8,6	9,5
$P_{RL}, \text{Вт}$	0	0,01	0,09	0,16	0,19	0,22	0,26	0,33	0,41	0,55

Рассчитаем зависимость $R(I)$ по формуле:

$$R(I) = P_{RL} / (I)^2. \quad (6)$$

Результаты расчета запишем в таблицу 3.

Таблица 3- Результаты измерений

$I, \text{мА}$	0	21	41	61	71	82	98	129	166	229
$R, \text{Ом}$	0	22,7	53,5	42,9	37,7	32,7	27,1	19,8	14,9	10,5

Используя экспериментальную характеристику катушки $URL(I)$ и расчетную зависимость $R(I)$ высчитаем зависимости по формулам (2-4). Результаты расчета приведены в таблице 4.

Таблица 4- Результаты расчетов

$I, \text{мА}$	0	21	41	61	71	82	98	129	166	229
----------------	---	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----

$U_1, \text{В}$	0	1,42	3,35	4,83	5,48	6,03	6,58	7,47	8,23	9,19
$U_{1c}, \text{В}$	0	0,45	1,45	2,02	2,2	2,25	2,06	1,52	0,58	1,38
$U, \text{В}$	0	0,66	2,63	3,31	3,47	3,5	3,36	2,98	2,54	2,77

На одном поле графика построим экспериментальную $U_1(I_1)$ (при возрастании), $U_2(I_2)$ (при убывании) по данным таблицы 1 и рассчитанную $U(I)$ зависимость по данным таблицы 4 согласно рисунку 7.

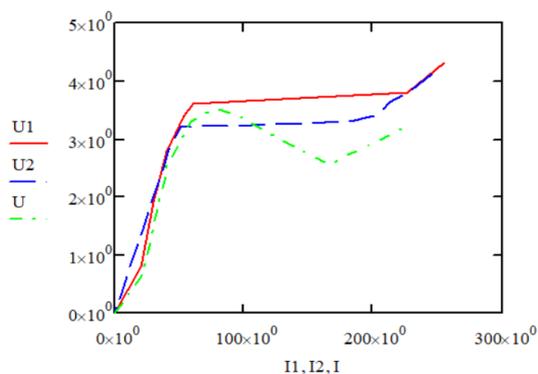


Рисунок 7 – Графики зависимости

Результаты и обсуждение

Как мы видим из табличных данных, в нелинейной электрической цепи, содержащей катушку с ферромагнитным сердечником, наблюдается резко выраженная зависимость индуктивности этой катушки от значения напряжения в ней.

Можно судить по построенным экспериментальным вольтамперным характеристикам при увеличении и уменьшении напряжения, где феррорезонансные явления иллюстрируются в виде скачкообразного перехода из состояния мощного насыщения катушки индуктивности в малонасыщенное состояние, а также в обратном порядке. А при рассчитанной зависимости $U(I)$ можно наблюдать форму технической кривой намагничивания материала сердечника.

Выводы

Таким образом, теоретически и экспериментально исследованы основные закономерности явления феррорезонанса. Используя свойства таких цепей, как показано в работе, можно создать ещё более оригинальные схемы стабилизаторов тока, не критичные в широком диапазоне, ни к

изменениям сопротивления нагрузки, ни к отклонениям питающего напряжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Евсюков, А. А.** Электротехника : Учеб. пособие для студентов физ. спец. пед. ин-тов. – М. : Просвещение, 1979. – 248 с.
- 2 **Зевеке, Г. В., Ионкин, П. А., Нетушил, А. В., Страхов, С. В.** Основы теории цепей. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
- 3 **Сиротинский, Л. И.** Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках. – М., Л. : Госэнергоиздат, 1932. – 463 с.
- 4 **Кадомская, К. П., Лавров, Ю. А., Рейхердт, А.** Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них : Учебник. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. – 319 с.
- 5 **Лотрейчук, Е. А.** Теоретические основы электротехники : Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 316 с.
- 6 **Soudack, A. C., Marti, J. R.** Ferroresonance in Power Systems : Fundamental Solutions // IEE Proceedings-C. – 1991. – Vol.138. – No. 4. – P. 321–329.
- 7 **Mozzaffari, S., Henschel, S., Soudack, A.C.** Chaos in Power Transformers // BEE Proceedings-C. – 1995. – Vol.142. – No. 3. – P. 247–250.
- 8 **Непопалов, В. Н., Сафонов, В. И., Шулдяков, В. В.** Исследование электрических цепей : Методические указания к проведению лабораторных работ на стенде «Теория электрических цепей». Часть 2. – Челябинск : Учтех–Профи, 2018. – 64 с.
- 9 **Матвиенко В. А.** Основы теории цепей: учебное пособие для вузов. – Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2016. – 162 с.
- 10 **Бессонов Л. А.** Нелинейные электрические цепи. – М. : Высшая школа, 1977. – 343 с.

REFERENCES

- 1 **Evsyukov, A. A.** Ehlektrotekhnika : Ucheb. posobie dlya studentov fiz. spec. ped. in-tov [Electrical engineering : Textbook for students of physical specialties of pedagogical universities]. – Moscow : Prosveshchenie, 1979. – 248 p.
- 2 **Zeveke, G. V., Ionkin, P. A., Netushil, A. V., Strakhov, C.V.** Osnovy teorii cepej [Fundamentals of circuit theory]. – Moscow : Energoatomizdat, 1989. – 528 p.

3 **Sirofinskiy, L. I.** Perenapryazheniya i zashchita ot perenapryazhenij v ehlektricheskikh ustanovkakh [Overvoltage and surge protection in electrical installations]. – Moscow, Leningrad : Gosenergoizdat, 1932. – 463 p.

4 **Kadomskaya, K. P., Lavrov, Yu. A. Rejkerdt, A.** Perenapryazheniya v ehlektricheskikh setyakh razlichnogo naznacheniya i zashchita ot nikh : Uchebnik [Overvoltages in electrical networks for various purposes and protection against them : Textbook]. – Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2004. – 319 p.

5 **Lotrejkuk, E. A.** Teoreticheskie osnovy ehlektrotekhniki : Uchebnik [Theoretical foundations of electrical engineering : Textbook]. – Moscow : FORUM : INFRA-M, 2006. – 316 p.

6 **Soudack, A. C., Marti, J. R.** Ferroresonance in Power Systems : Fundamental Solutions // IEE Proceedings-C. – 1991. – Vol.138. – No. 4. – P. 321–329.

7 **Mozzaffari, S., Henschel, S., Soudack, A.C.** Chaos in Power Transformers // BEE Proceedings-C. – 1995. – Vol.142. – No. 3. – P. 247–250.

8 **Nepopalov, V. N., Safonov, V. I., Shuldyakov, V. V.** Issledovanie ehlektricheskikh cepej : Metodicheskie ukazaniya k provedeniyu laboratornykh rabot na stende «Teoriya ehlektricheskikh cepej». Chast 2 [Study of electrical circuits: Guidelines for laboratory work at the stand “Theory of electrical circuits”. Part 2]. – Chelyabinsk : Uchtekh-Profi, 2018. – 64 p.

9 **Matvienko, V. A.** Osnovy teorii cepej: uchebnoe posobie dlya vuzov [Fundamentals of circuit theory: a textbook for universities]. – Ekaterinburg : UMC UPI, 2016. – 162 p.

10 **Bessonov, L. A.** Nelinejnye ehlektricheskie cepi [Nonlinear electrical circuits]. – Moscow : Vysshaya shkola, 1977. – 343 p.

Принято к изданию 18.09.23.

**Н. Ю. Колесниченко, С. Ф. Крутоус*
Академик Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз
инженерлік-техникалық институты
Қазақстан Республикасы, Екібастұз қ.
Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ФЕРРОРЕЗОНАНС ҚҰБЫЛЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Мақалада феррорезонанстық тізбек туралы, электр желісінде болып жатқан феррорезонанстық құбылыстың себептері туралы түсініктер берілген. Тізбектей қосылған электр тізбектері зерттелді катушка құрамында ферромагниттік ядро, конденсатор бар. Бұл

сынақтар «Электр тізбектерінің теориясы» зертханалық кешенінің көмегімен жүргізілді, сондай-ақ осы блоктық-модульдік типтегі құрылғылардың сипаттамасы ұсынылды. Электр тізбегіндегі белгіленген ауысу режимінің кернеуі мен тогы бойынша есептеулер жүргізу кезінде эквивалентті синусоидалар әдісі қолданылды. Зерттелетін тізбекті ауыстыру схемасы жасалды, қарастырылып отырған электр тізбегінің векторлық диаграммалары, сызықтық емес тізбектегі сипаттамалар графиктерде тәуелділікті көрсете отырып көрсетілген. Кернеудің жоғарылауы мен төмендеуі кезінде электр тізбегінің эксперименттік вольтамперлік сипаттамалары ұсынылған, реактивтілік есептелген, содан кейін конденсаторы бар электр тізбегінің учаскесінің схемасында қысқа секіргіш орнатылған. Индуктордың эксперименттік сипаттамасын және токтың кернеуге есептелген тәуелділігін қолдана отырып, формулалар бойынша тәуелділіктер есептеледі. Соңында графиктің бір өрісінде тізбектің эксперименттік вольтамперлік сипаттамалары (осы және кему кезінде) және токтың кернеуге есептелген тәуелділігі салынған. Жүргізілген өлшеулер нәтижелері бойынша зерттеулер мен қорытындылар жасалды.

Кілтті сөздер: феррорезонанс құбылысы, индуктор, ферромагниттік ядро, электр тізбегі, ауыстыру тізбектері, ток, кернеу

**N. Yu. Kolesnichenko, S. F. Krutous*
Akkademik K. Satpayev Ekibastuz
Institute of engineering and technology
Republic of Kazakhstan, Ekibastuz
Accepted for publication on 18.09.23

INVESTIGATION OF THE PHENOMENON OF FERRORESONANCE

The article describes the concepts of the ferroresonance circuit, the causes of the occurrence of the ferroresonance phenomenon occurring in the electrical network. Electrical circuits in which a coil containing a ferromagnetic core and a capacitor are connected in series are investigated. These tests were carried out using the laboratory complex “Theory of electrical circuits”, and a description of these block-modular devices is also presented. When performing calculations on the voltage and current of the established transient mode in an electrical circuit, the method of equivalent

sinusoids was used. A replacement circuit of the circuit under study is drawn up, vector diagrams of the electrical circuit under consideration are shown, characteristics in a nonlinear circuit are indicated on the dependence graphs. Experimental current-voltage characteristics of an electric circuit with increasing and decreasing voltage are presented, the reactance is calculated, followed by the installation of a short-circuited jumper in the circuit section of an electric circuit with a capacitor. Using the experimental characteristic of the inductor and the calculated dependence of current on voltage, the dependences are calculated according to the formulas. And finally, experimental voltage characteristics of the circuit (with increasing and decreasing) and the calculated dependence of current on voltage are plotted on one field of the graph. The results of the measurements were investigated and conclusions were drawn.

Keywords: ferroresonance phenomenon, inductor, ferromagnetic core, electrical circuit, substitution circuits, current, voltage

МРНТИ 44.41.35

<https://doi.org/10.48081/ARAT3893>

***Г. Б. Курманбаев¹, И. У. Махамбаева², Г. Н. Камалова³,
Н. Г. Бекзулда⁴**

^{1,2,3,4}Кызылординский университет имени КORKYТ АТА,
Республика Казахстан, г. Кызылорда
e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

В этой работе приведены сведения о перспективах развития солнечных электростанций и факторах, влияющие на ее режим работы на примере Кызылординской области. Основной задачей при строительстве солнечных электростанций является определение подходящих климатических факторов, а также их учет при разработке режимов работы станции. К таким условиям можно отнести уровень солнечного излучения, ясные безоблачные дни, пыльные бури, температуру окружающей среды.

Как известно интенсивность солнечного света, которая достигает земли, меняется в зависимости от времени суток, года, местоположения и погодных условий. Общее количество энергии, подсчитанное за день или за год, называется иррадиацией (или еще по-другому «приход солнечной радиации») и показывает, насколько мощным было солнечное излучение. В ходе исследования определены и проанализированы основные причины и климатические факторы, влияющие на режимы работы солнечных электростанций на примере Жалагайской СЭС Кызылординской области. Особо нужно отметить, что такие параметры, как угол падения солнечных лучей, облачность, температура окружающей среды могут существенно влиять на выработку электроэнергии. Учитывая, приведенные факты и проведенные расчеты можно утверждать, что Кызылординский регион имеет большой потенциал солнечной энергии.

Ключевые слова: солнечная электростанция, солнечная панель, климатический фактор, воздействия, солнечная радиация, иррадиация, энергия.

Введение

Солнечная энергетика – это один из перспективных видов добычи энергии, основанных на возобновляемых источниках, в частности, на энергии Солнца. Этот вид энергии неисчерпаем и может рассматриваться потенциально как энергоресурс, способный перевернуть современные представления об энергообеспечении и полностью удовлетворить потребности человечества в будущем. Тем более энергетический ресурс планеты с каждым годом интенсивно снижается. Но надо отметить, что строительство солнечных электростанций – удовольствие не из дешёвых. Это обусловлено необходимостью применять редкие элементы в их конструкции. Не все страны готовы растрачивать бюджеты на менее мощные электростанции, когда есть рабочие ТЭС и АЭС. Для размещения таких установок также необходимы большие площади, причём в местах, где солнечное излучение имеет достаточный уровень. Стабильность работы таких электростанций зависит от климатических факторов, и могут колебаться в широких диапазонах[1]. Например, затянутое облаками небо в течение нескольких дней значительно понижает выработку электричества, а ведь населению и предприятиям необходима его бесперебойная подача. Поэтому прежде чем построить такие станции, надо учитывать местные климатические факторы и особенности, а также возможности региональных сетей к стабилизации и регулированию мощности, при колебании выработки электроэнергии на солнечных электростанциях.

Несмотря на это за последние десятилетия в мире и в Казахстане активнее стали строить мощные солнечные электростанции. Это обусловлено снижением себестоимости, вырабатываемой на этих станциях 1кВт*час электроэнергии.

Материалы и методы

Сравнительный анализ изменения стоимости электроэнергии представлен на рисунке 1. В 2015-2020 гг. в Республике Казахстан было построено несколько мощных солнечных электростанций, работающие параллельно с энергосистемой. Большинство из них находятся в южных регионах, таких как, Кызылординские, Алматинские, Жамбылские, Южно-Казахстанские области.

Основной задачей при строительстве солнечных электростанций является определение подходящих климатических факторов, а также их учет при разработке режимов работы станции. К таким условиям можно отнести уровень солнечного излучения, ясные безоблачные дни, пыльные бури, температуру окружающей среды[2].

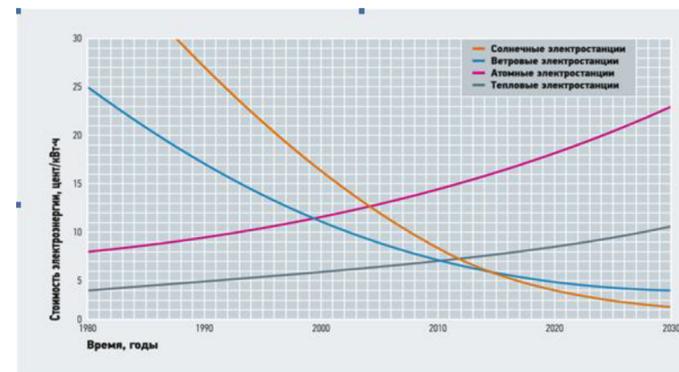


Рисунок 1–Прогноз сравнительных изменений стоимости электроэнергии

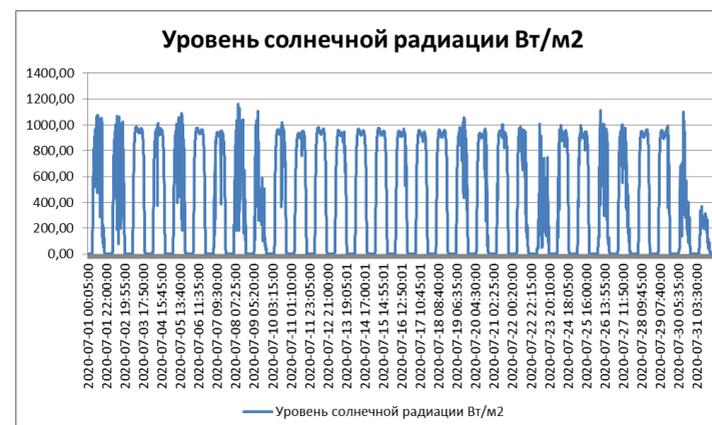


Рисунок 2 – Суточный уровень солнечной радиации на территории Жалагашского района, Кызылординской области

С 2019 по 2021 годы в Кызылординской области было введено в эксплуатацию три мощных солнечных электростанции в Жалагашском районе – компания «Total Eren» (Франция)-30МВт, в Жанакорганском районе – компания АО «HydroEnergy» (Болгария) -10МВт, еще одна – в Шиелийском районе – совместно с компаниями «Samruk Kazyna – United Green» и ООО «Авелар Солар Технолоджи» (Россия) -50МВт. Дополнительно идут подготовительные проектные работы по строительству еще одной солнечной электростанции вблизи города Кызылорда мощностью 50 МВт.

Такая привлекательность Кызылординского региона в первую очередь обусловлена солнечной активностью. В год выявлено 260-280 безоблачных солнечных дней. При этом уровень солнечного излучения в летнее время максимально доходило до 1050 Вт/м^2 , а в зимнее 700 Вт/м^2 (рисунки 2 и 3). Данные сведения были получены метеорологической станцией, расположенного в Жалагашском районе.



Рисунок 3 – Суточный уровень солнечной радиации на территории Жалагашского района, Кызылординской области (25-31 января 2020г.)

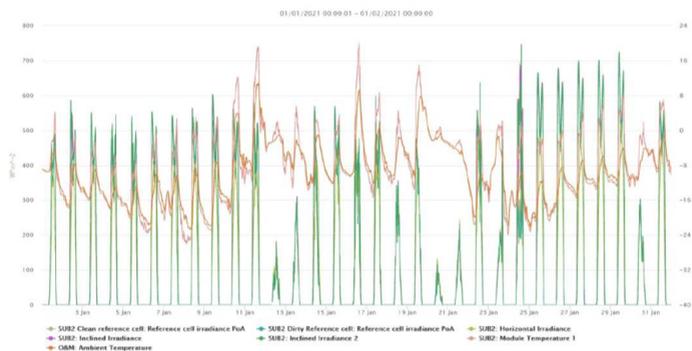


Рисунок 4 – Месячный уровень солнечной радиации на территории Жалагашского района, Кызылординской области (январь, 2020 г.)

На Жалагашской солнечной станции были использованы солнечные панели «SOLOR» монокристаллические, площадь одной панели составляет $1,2 \text{ м}^2$, мощность 289 Вт , это не плохие технико-экономические показатели.

Исходя из рисунков 2,3,4 можно предположить, что самым главным фактором, влияющие на выработку электроэнергии является солнечная радиация. При этом надо отметить, что к снижению и соответственно к уменьшению радиации и электроэнергии играет дневная облачность и прямое попадание солнечных лучей к панелям [3]. Хотя для урегулирования угла используются электроприводные трекера, но максимальное значение ($L 90^\circ$) достигается только после 2 и 3 часов утреннего и послеобеденного периода. В обеденный период с 11.00 до 14.00 часов наблюдается некоторое снижение активности солнечной радиации до 10–15 %, обусловленной снижением угла падения солнечных лучей. Это охарактеризовано тем, что, месторасположение Жалагашской солнечной станции не позволяет в вышеуказанные часы прямого попадания солнечных лучей ($D 80-83^\circ$), тем самым уменьшая общую радиацию. Надо отметить, что КПД используемых панелей напрямую зависит от угла падения луча.

Как известно интенсивность солнечного света, которая достигает земли, меняется в зависимости от времени суток, года, местоположения и погодных условий[4]. Общее количество энергии, подсчитанное за день или за год, называется иррадиацией (или еще по-другому «приход солнечной радиации») и показывает, насколько мощным было солнечное излучение. Иррадиация измеряется в $\text{Вт} \cdot \text{ч/м}^2$ в день, или в другой период. Если учесть, что максимальная ее величина равна – 1353 Вт/м^2 , то из всех возможных по исследуемому объекту в летнее время оно достигает до 1050 Вт/м^2 (из показания датчиков, установленных на Жалагашской солнечной станции). Это еще одна хорошая техническая возможность реализации солнечной программы. Также один из немаловажных факторов, влияющие на КПД панелей является температура самой панели[5].

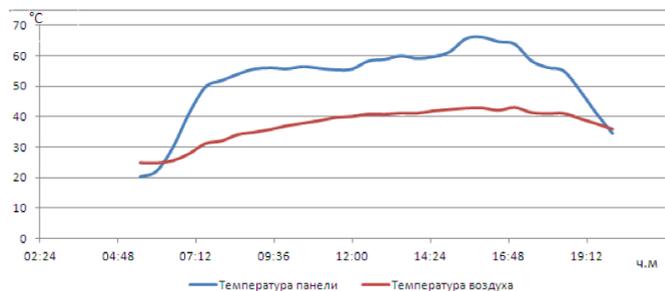


Рисунок 5 – Суточный график изменения температуры панели и окружающей среды (21.07.2022г. Жалагашская солнечная электростанция)

Результаты и обсуждение

Исследования, проводимые в этом направлении показали, что самые жаркие дни года, при 40–45 °С, температура монокристаллических панелей достигали 65°–68 °С (рисунок-5). При этом выработка электроэнергии показала 6–8 % понижение (рисунок-6). Дальнейшее повышение температуры выше 70 °С возможно приведет к резкому снижению КПД. Но такие факторы на этих объектах встречаются очень редко.

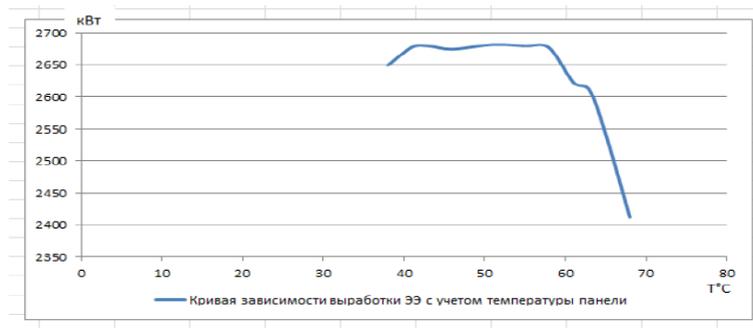


Рисунок 6 – График зависимости выработки электроэнергии с учетом температуры панелей (21.07.2022 г. Жалагашская солнечная электростанция, использованы монокристаллические панели суммарной установленной мощностью 3000кВт)

Климат Кызылординской области отличается пыльными бурями. Особенно такие погодные условия наблюдается в жаркие летние дни и могут длиться несколько дней и в результате в окружающий воздух поднимается тонкий слой песка, которая в свою очередь, загрязняя солнечные панели, снижает их КПД[6]. Исследования, проводимые на этом объекте выявила, что такие факторы могут наблюдаться только в летнее время, а также уровень загрязнения в течение 3 месяцев составила 5-10 % от общего КПД (рисунок-7). Поэтому для дальнейшей эксплуатации требовалось почистить поверхность панели.

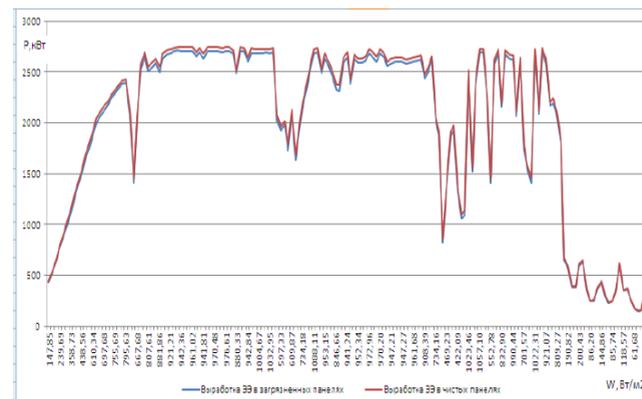


Рисунок 7 – Уровень выработки электроэнергии в чистых и загрязненных панелях. (22.08.2022 г. Жалагашская солнечная электростанция)



Рисунок 8 – Технические параметры исследуемой панели



Рисунок 9 – Внешний вид Жалагашской солнечной электростанции



Рисунок 10 – Общий вид СЭС и поворотного механизма панели

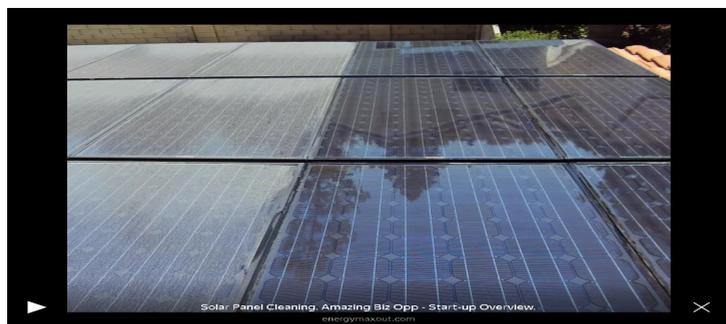


Рисунок 11 – Загрязненные и почищенные панели

Выводы

В ходе исследования определены и проанализированы основные причины и климатические факторы, влияющие на режимы работы солнечных электростанций на примере Жалагашской СЭС. Особо нужно отметить, что такие параметры, как угол падения солнечных лучей, облачность, температура окружающей среды могут существенно влиять на выработку электроэнергии [8], а температура и загрязнение панели могут дополнительно привести к потерям КПД до 10 %. Учитывая, вышеприведенные факты и проведенные расчеты можно утверждать, что Кызылординский регион имеет большой потенциал солнечной энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Юмаев, Н. Р., Юсуфбеков, Н. Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации // III Междунар. науч. конф. – Казань : Молодой ученый, 2018. – 128 с.

2 Козлов, А. В. Контроль влияния параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск, 2008.

3 Феофанов, С. А., Завойкин, В. А. Экспериментальные исследования модульной солнечной электростанции в различных погодных условиях при изменении угла падения солнечных лучей // Международный научный журнал UNIVERSUM. – 2019.

4 Исмагилов, Ф. Р., Гайсин, Б. М., Шарифов, Б. Н., Загитова, Л. Р., Газутдинов, Д. И. Анализ эффективности применения солнечных фотоэлектрических модулей в климатических условиях Российской Федерации // Вестник УГАТУ, 2018. – С. 73–81.

5 Салиев, М. А., Нозиров, Д., Абдуллаев, С. Ф., Кабутов, К. Эффективности солнечной фотоэлектрической установки, – 2020.

6 Мирзокилова, Ф. О., Юсупова, М. З., Салиев, М. А., Назаров, Р. Р. Эффективность солнечной фотоэлектрической установки в летний и зимний период // Материалы Международной конференции «Актуальные проблемы современной физики» посвященной 80-летию заслуженного деятеля науки и техники РТ, д.ф.м.н., проф. Нарзиева Б. Н., – Душанбе, 2018. – С. 258–261.

7 [Электронный ресурс] – <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techorient.htm>

8 Местников, Н. П. Особенности эксплуатации солнечных электростанций микро мощности в условиях Север // Часть 1 : монография Изд-во: ООО РИЦ «Офсет». Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, – Якутск : ФГАОУ ВО «СВФУ», 2021. – 113 с. – 20 экз. – ISBN 978-5-91441-336- 8

9 Мирзокилова, Ф., Нозиров, Д., Абдуллаев, С. Ф., Кабутов, К., Салиев, М. А. Влияния климатических условий на эффективность солнечной фотоэлектрической установки, – 2020

10 Завойкин, В. А., Феофанов, С. А. Экспериментальные исследования модульной солнечной электростанции в различных погодных условиях при изменении угла падения солнечных лучей // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2019. – № 6 (63)

REFERENCES

1 **Jumaev, N. R., Jusuffbekov, N. Sh.** Issledovanie vlijaniya pogodnyh uslovij na parametry raboty solnechnyh batarej v estestvennyh uslovijah jekspluatcii [Investigation of the influence of weather conditions on the parameters of solar panels in natural operating conditions]. III Mezhdunar. nauch. konf. – Kazan' : Molodoj uchenyj, 2018. – 128 p.

2 **Kozlov, A. V.** Kontrol' vlijaniya parametrov atmosfery na jenergeticheskie harakteristiki kremnievoj solnechnoj batarei [Control of the influence of atmospheric parameters on the energy characteristics of a silicon solar battery]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk. – Tomsk, 2008.

3 **Feofanov, S. A., Zavojkin, V. A.** Jeksperimental'nye issledovanija modul'noj solnechnoj jelektrostantsii v razlichnyh pogodnyh uslovijah pri izmenenii ugla padenija solnechnyh luchej [Experimental studies of a modular solar power plant in various weather conditions with a change in the angle of incidence of sunlight]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal UNIVERSUM. – 2019.

4 **Ismagilov, F. R., Gajsin, B. M., Sharifov, B. N., Zagitova, L. R., Gazutdinov, D. I.** Analiz jeffektivnosti primenenija solnechnyh fotojelektlicheskih modulej v klimaticeskix uslovijah Rossijskoj Federacii [Analysis of the effectiveness of the use of solar photovoltaic modules in the climatic conditions of the Russian Federation]. Vestnik UGATU, 2018. – P. 73–81.

5 **Saliev, M. A., Nozirov, D., Abdullaev, S. F., Kabutov, K.** Jeffektivnosti solnechnoj fotojelektlicheskoj ustanovki [Solar Photovoltaic Plant Efficiency], – 2020.4

6 **Mirzokobilova, F. O., Jusupova, M. Z., Saliev, M. A., Nazarov, R. R.** Jeffektivnost' solnechnoj fotojelektlicheskoj ustanovki v letnij i zimnij period [Efficiency of solar photovoltaic installation in summer and winter]. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Aktual'nye problemy sovremennoj fiziki» posvjashhennoj 80-letiju zaslužennogo dejatelja nauki i tehniki RT, d.f.m.n., prof. Narzieva B.N., – Dushanbe, 2018. – P. 258-261.

7 [Electronic resource] – <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techorient.htm>

8 **Mestnikov, N. P.** Osobennosti jekspluatcii solnechnyh jelektrostantsij mikromoshhnosti v uslovijah Sever [Features of operation of micro-capacity solar power plants in the conditions of the North]. Chast' 1: monografija Izdvo: OOO RIC «Ofset». Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M.K. Ammosova, – Jakutsk : FGAOU VO «SVFU», 2021. – 113 p. – 20 jekz. – ISBN 978-5-91441-336- 8

9 **Mirzokobilova, F., Nozirov, D., Abdullaev, S.F., Kabutov, K., Saliev, M. A.** Vlijaniya klimaticeskix uslovij na jeffektivnost' solnechnoj

fotojelektlicheskoj ustanovki [The influence of climatic conditions on the efficiency of a solar photovoltaic installation], – 2020

10 **Zavojkin, V. A., Feofanov, S. A.** Jeksperimental'nye issledovanija modul'noj solnechnoj jelektrostantsii v razlichnyh pogodnyh uslovijah pri izmenenii ugla padenija solnechnyh luchej [Experimental studies of a modular solar power plant in various weather conditions with a change in the angle of incidence of sunlight]. Universum: tehniceskije nauki : jelektron. nauchn. zhurn. – 2019. – № 6 (63)

Принято к изданию 18.09.23.

**Ф. Б. Құрманбаев¹, И. У. Махамбаева², Г. Н. Камалова³, Н. Ф. Бекзұлда⁴*

^{1,2,3,4}Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,

Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҚЫЗЫЛОРДА ОБЛЫСЫНДА КҮН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫН ДАМУ ТУРАСЫНДА ПЕРСПЕКТИВАСЫ

Бұл жұмыста Қызылорда облысында күн электр стансаларының жұмыс істеу перспективалары, қоршаған ортаның олардың жұмыс режиміне әсері туралы мағлұматтар берілген. Күн электр станцияларын салудағы негізгі міндет қолайлы климаттық факторларды анықтау, сондай-ақ станцияның жұмыс режимдерін әзірлеу кезінде оларды есепке алу болып табылады. Мұндай жағдайларға күн радиациясының деңгейі, ашық бұлтсыз күндер, шаңды дауылдар, қоршаған ортаның температурасы жатады.

Күн сәулесінің қарқындылығы күннің уақытына, жылына, орналасқан жеріне және ауа-райына байланысты өзгертіндігі белгілі. Бір күнде немесе бір жылда есептелген энергияның жалпы мөлшері сәулелену деп аталады (немесе басқаша «күн радиациясының келуі») және күн радиациясының қаншалықты күшті болғанын көрсетеді. Зерттеу барысында Қызылорда облысының Жалағаш СЭС мысалында күн электр станцияларының жұмыс режиміне әсер ететін негізгі себептер мен климаттық факторлар анықталып, талданды. Күн сәулесінің түсу бұрышы, бұлттылық, қоршаған ортаның температурасы сияқты параметрлер электр энергиясын өндіруге айтарлықтай әсер етуі мүмкін екенін ерекше атап өткен жөн. Келтірілген фактілерді және жүргізілген есептеулерді ескере отырып, Қызылорда өңірінің күн энергиясы жоғары деп айтуға болады.

Кілтті сөздер: күн электр станциясы, күн панелі, климаттық фактор, әсер ету, күн радиациясы, сәулелену, энергия.

*G. B. Kurmanbayev, I. U. Makhambayeva, G. N. Kamalova,
N. B. Bekzulda
Korkyt Ata Kyzylorda University, Kazakhstan, Kyzylorda
Accepted for publication on 18.09.23

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SOLAR POWER PLANTS IN THE KYZYLORDA REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

This work provides information on the prospects for the development of solar power plants and on the factors affecting its operation on the example of the Kyzylorda region. The main task in the construction of solar power plants is to determine suitable climatic factors, as well as their consideration in the development of plant operating modes. Such conditions include the level of solar radiation, clear cloudless days, dust storms, and ambient temperature.

As you know, the intensity of sunlight that reaches the earth varies depending on the time of day, year, location and weather conditions. The total amount of energy calculated in a day or a year is called irradiation (or in another way «the arrival of solar radiation») and shows how powerful the solar radiation was. In the course of the study, the main causes and climatic factors affecting the operating modes of solar power plants were identified and analyzed on the example of the Zhalagash SES of the Kyzylorda region. It should be particularly noted that parameters such as the angle of incidence of sunlight, cloud cover, and ambient temperature can significantly affect electricity generation. Taking into account the facts given and the calculations carried out, it can be argued that the Kyzylorda region has a great potential for solar energy.

Keywords: solar power plant, solar panel, climate factor, impacts, solar radiation, irradiation, energy.

FTAMP 47.45.99

<https://doi.org/10.48081/VXCP3444>

*P. T. Qasym¹, Z. M. Ömirbekova²,
T. G. Serikov³, A. S. Tolegenova⁴, A. A. Tlenchieva⁵

^{1,2}Логистика және көлік академиясы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,
^{3,4,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу
университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.
e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

ИНТЕРФЕЙСТЕР АРАСЫНДАҒЫ АҚПАРАТТЫ УЛЬТРА КЕҢ ЖОЛАҚТЫ КӨП АНТЕННАЛЫҚ СЫМСЫЗ ТАСЫМАЛДАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ МОДЕЛІ

Бұл жұмыста антеннаның биіктігіне байланысты үстелдің металл корпусының ішіндегі терагерц (ТГц) сымсыз арнасының жолындағы шығындар моделі келтірілген. Металл қораптың ішіндегі көру сызығы (LoS) аймағында таралу өлшемдері жолдағы шығындар төменгі қабырғадан трансивердің биіктігіне байланысты өзгеретінін және кейбір биіктіктер үшін жолдағы шығындар бос кеңістіктің мәнінен төмен екенін көрсетеді. Резонатор режимдеріне негізделген талдау те-дің алғашқы сегіз режимі қораптың ішіндегі резонанстық режимдерге үстемдік ететіндігін көрсетеді. Сонымен қатар, жолдағы шығындарды талдау резонанстық режимдер қораптың ішіндегі шағылысулармен бірге жолдағы жоғалту қисығындағы қатты толқындарға жауап беретіндігін көрсетеді. Трансивер биіктігінің өзгеруімен шығынның таралу сценарийлеріне назар аудардық, трактаттағы шығынды талдау көрсеткендей, толқын да, резонанстық режим де қабылданған қуатқа ықпал етеді. Мұнда, әрі қарай, біз металл корпустың жолдағы орташа шығындар моделін толқын мен резонанстық режимдердің суперпозициясы ретінде ұсынамыз. Сонымен қатар, дәлдік үшін біз те-дің алғашқы сегіз резонанстық режимімен қабылданған қуаттың өзгеруін модельдейміз. Мақаланың қалған бөлігі келесідей ұйымдастырылған. II бөлімде жолдағы шығындар моделін құру үшін қолданылатын өлшеу сценарийі сипатталған. III бөлімде өлшеу нәтижелері, жолдағы

шығындар моделі келтірілген және алынған нәтижелер талқыланады.

IV бөлім-қорытынды.

Кілтті сөздер: интерфейстер арасындағы ақпарат, микротолқынды жиілік, металл қорап, кең жолақты, көп антенналы.

Кіріспе

Сымсыз байланыс чиптерді құрастыру құнын және жүйені жобалау мен техникалық қызмет көрсетудің күрделілігін төмендету үшін жұмыс үстеліндегі чиптер арасындағы байланыстың болашақ шешімі ретінде ұсынылды. Сымсыз байланыстың шектеулерінің бірі-деректерді беру жылдамдығы. Сымды жүйе үшін секундына жүздеген гигабитпен салыстырғанда, сымсыз байланыс секундына он гигабитке жете алмайды. Бұл мәселені шешу үшін терагерц (ТГц) сымсыз байланысы ұсынылды, оның артықшылығы үлкен өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ету және кішірек Антенналарды пайдалану қажеттілігі болып табылады. Жұмыс үстеліндегі терагерц диапазонындағы чиптен чипке сымсыз байланысты қамтамасыз ету үшін арнаның сипаттамасы қажет. 3,1-10 ГГц микротолқынды жиілік диапазонында тақтааралық байланыс үшін өлшемдер екі жұмыс үстелінің ішінде, біреуі толып жатқан ішкі кеңістікте, екіншісі салыстырмалы түрде бос ішкі кеңістікте жүргізілді. Сонымен қатар, «чип-чип» байланысы ұқсас жиілік диапазонындағы компьютерлердің жабық және ашық корпустарына тән болды. ТГц жиіліктерінде үй ішіндегі байланыс таратқыш (Tx) мен қабылдағыш (Rx) арасындағы қашықтықты өзгерту арқылы көру сызығын (LoS) тарату үшін, сондай-ақ әртүрлі беру және қабылдау бұрыштары, көлеңкелеу әсері, шағылысу және дифракция арқылы көру сызығынан тыс (NLoS) тарату үшін жүзеге асырылды. әртүрлі материалдан. Сонымен қатар, los, RNLoS, көру сызығының кедергісі (OLoS) және NLoS сияқты әртүрлі ықтимал сценарийлерді ескере отырып, 300 ГГц жиіліктегі сымсыз өлшеулер жүргізілді.

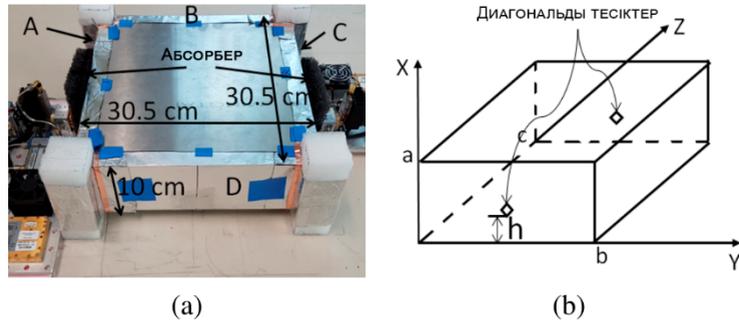
Керісінше, бұл мақалада антеннаның биіктігіне байланысты жұмыс үстелінің өлшеміндегі металл қораптың ішіндегі 300 ГГц сымсыз арнадағы деректерді беру жолындағы жоғалту моделі келтірілген. Мұнда біз трансивер биіктігінің өзгеруімен шығынның таралу сценарийлеріне назар аудардық, h трактаттағы шығынды талдау көрсеткендей, толқын да, резонанстық режим де қабылданған қуатқа ықпал етеді. Жолдағы шығындар мен антеннаның биіктігі арасындағы байланысты талдай отырып, нәтижелер алғашқы сегіз те режимі қорап ішіндегі резонанста басым екенін көрсетеді. Сонымен қатар, жолдағы шығындарды талдау резонанстық режимдер қораптың ішіндегі шағылысулармен бірге жолдағы жоғалту қисығындағы қатты толқындарға жауап беретіндігін көрсетеді. LoS таралу сипаттамаларының бастапқы зерттеуі трансиверлердің биіктігіне байланысты қабылданған қуаттың

өзгеруін көрсетеді. Бұл ТЕ-дің алғашқы алты резонанстық режимінің қосқан үлесімен түсіндірілді. Мұнда, әрі қарай, біз металл корпусындағы жолдағы орташа шығындар моделін толқын мен резонанстық режимдердің суперпозициясы ретінде ұсынамыз. Сонымен қатар, дәлдік үшін біз те-дің алғашқы сегіз резонанстық режимімен қабылданған қуаттың өзгеруін модельдейміз. Мақаланың қалған бөлігі келесідей ұйымдастырылған. II бөлімде жолдағы шығындар моделін құру үшін қолданылатын өлшеу сценарийі сипатталған. III бөлімде өлшеу нәтижелері, жолдағы шығындар моделі келтірілген және алынған нәтижелер талқыланады. IV бөлім-қорытынды.

Материалдар және әдістер

Өлшеу сценарийі – сипатталғанға ұқсас, ол шамамен Жұмыс үстелінің корпусына сәйкес келетін 30,5 см × 30,5 см × 9,6 см алюминий қорапты пайдаланады.

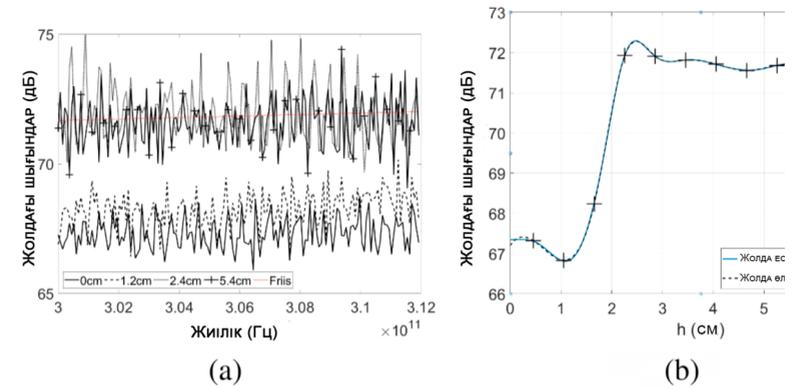
I суретте көрсетілгендей, ұзындығы 30,5 см болатын екі шаршы алюминий тақтайшалар төрт бұрышқа көбікпен бекітіліп, металл қораптың төбесі мен еденін құрады. Металл қораптың қалған төрт жағы алюминий фольгамен қапталған. Бұл бүйір қабырғалар IA-суретте көрсетілгендей A, B, C және D деп белгіленген. қорап көлденең антенналары бар таратқыштың (Tx) және қабылдағыштың (Rx) ортасында қысылған. Антеннаның биіктігі ретінде, h , трансивердің бүйірлерінде (a жағы мен C жағы) IB суретте көрсетілгендей антенна үшін екі диагональды тесік бұрғыланды. антенналардың ортасынан металл қораптың бүйіріне дейінгі қашықтық оның енінің жартысына тең. Металл қораптың ішіндегі резонанстық режимдерді сипаттау үшін өлшемдер 0 см-ден 6,6 см-ге дейін, 0,6 см қадаммен өлшенді. мұндағы h параметрі мүйіздің төменгі жиегі мен металл қораптың негізі арасындағы қашықтықты білдіреді. Фазалық орталық пен мүйіз антеннасының төменгі жиегі арасындағы қашықтық 4,575 мм. Антенналардың артқы жағындағы шағылыстарды жою үшін IA суретте көрсетілгендей раковиналар қолданылды.



Сурет 1 – Шығындар өлшеу қондырғысы прототипі және металл қуыс.
 (а) Шығындар өлшеу қондырғысы және (б) диагональды тесіктері бар тікбұрышты металл қуыс.

Нәтижелер мен талқылау

2а-суретте қорап өлшемдеріндегі трактаттағы өлшенген шығындар көрсетілген және оларды Фриис формуласымен салыстыру жүргізілген. $h < 1,8$ см өлшеулер үшін траекториядағы шығындар Фриис формуласы бойынша болжанғаннан төмен, ал $h > 1,8$ см үшін траекториядағы шығындар Фриис формуласы бойынша болжамға сәйкес келеді. Трактаттағы шығындардың бұл өзгеруін әртүрлі резонанстық режимдер қабылданған қуатқа ықпал ететінін байқау арқылы түсіндіруге болады. Мұнда біз беріліс қуаты тұрақты болғандықтан, трактаттағы шығындардың өзгеруі қабылдау қуатының өзгеруіне тең екенін атап өтеміз. Демек, металл қораптың ішіндегі los таралу жолындағы шығындарды толқын жолындағы шығындар мен резонанстық режимдерге байланысты қабылданған қуаттың өзгеруі ретінде қарастыруға болады. 2b-суретте биіктікке қатысты траекториядағы өлшенген және есептелген орташа шығындарды салыстырады, h . белгілі бір биіктікте жүру жолындағы өлшенген шығындардың орташа мәні, h , барлық тіркелген жиіліктерде 2а-суретте көрсетілгендей үздіксіз толқынды орташалау арқылы есептеледі. Жолдағы өлшенген шығын қисығы 2b-суретте көрсетілген – бұл қисықта да белгіленген осы орташа нүктелердің интерполяциясы.



Сурет 2 – Өлшенген және есептелген (а) жиілік бойынша трактаттағы шығындардың өзгеруі (қызыл сызық – Фриис теңдеуі) және (б) антеннаның биіктігіне байланысты металл қораптағы LoS үшін трактаттағы орташа шығындар, h .

Жолдағы теориялық шығындар (PLT), 2b суреттегі дБ келесідей есептеледі.

$$(PL^T)_{dB} = (\overline{PL})_{dB} + 10 \log_{10}(|E|^2)^{-1} \tag{1}$$

Мұнда \overline{PL} : қозғалатын толқын жолындағы орташа шығынды білдіреді және Фриис формуласын жиілік жолағы бойынша $\overline{PL} = \frac{1}{\Delta f} \int \Delta f (\frac{4\pi df}{c})^2 df$ ретінде орташалау арқылы есептеуге болады, мұндағы d – Tx пен Rx арасындағы қашықтықты, ал c жарық жылдамдығын білдіреді.

$d = D = 30,5$ см бұл қораптың ұзындығына сәйкес келеді $10 \log_{10}((E^2)^{-1})$ резонанстық режимдерге байланысты қабылданған қуаттың өзгеруін білдіреді $/E^2$ ретінде жазылуы мүмкін.

$$|E|^2 = |E_x|^2 + |E_y|^2 = |\sum_{m=1}^M E_{ym}|^2 + |\sum_{m=1}^M E_{xm}|^2 \tag{2}$$

Еум және E_{xm} келесі есеп бойынша табылады.

$$E_{ym} = \frac{j\omega_{mnp}\mu k_x H_0}{k_{mnp}^2 - k_z^2} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{z} \quad (3)$$

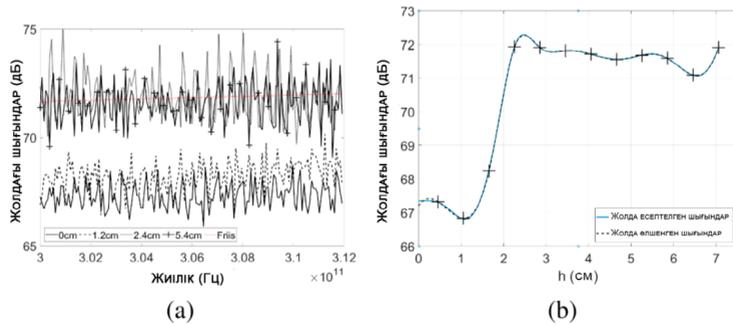
$$E_{xm} = -\frac{j\omega_{mnp}\mu k_x H_0}{k_{mnp}^2 - k_z^2} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{z} \quad (4)$$

мұндағы H_0 – А/м бірліктері бар ерікті тұрақты, ал m, n және p – бүтін сандар. K_{mnp} меншікті мәндері $k_{mnp}^2 = (\frac{m\pi}{a})^2 + (\frac{n\pi}{b})^2 + (\frac{p\pi}{c})^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$ шартын қанағаттандырады, мұндағы $k_x = n\pi/a, k_y = m\pi/b, k_z = p\pi/c$ ал a, b және c 1b-суретте көрсетілгендей қуыстың биіктігі, ұзындығы және ені болып табылады. Н бағытын өзгерту үшін x келесідей жеңілдетілуі мүмкін.

$$E_{ym} = A_m \sin(m\pi x/a), E_{xm} = B_m \cos(m\pi x/a) \quad (5)$$

Қисық фитингті қолдана отырып, біз ТЕ режимінің алғашқы 8 режимі қораптағы резонанстық резонаторда басым болатынын және осы режимдердің коэффициенттері эмпирикалық түрде

A=0.441, B1=-0.173, A2=-0.583, B2=0.060, A3=0.757,
B3=-0.56, A4=-0.254, B4=0.352, A5=0.74, B5=-0.113,
A6=0.128, B6=0.394, A7=0.968, B7=0.892, A8=0.269,
B8=0.323 екенін анықтадық.



Сурет 3 – Өлшенген және есептелген (а) жиілік бойынша трактаттағы шығындардың өзгеруі (қызыл сызық - Фриис теңдеуі) және (б) антеннаның биіктігіне байланысты металл қораптағы LoS үшін трактаттағы орташа шығындар, h.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, AP14869840 –«Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдауды зерттеу және құру» жобасы аясында шығарылды.

Қорытынды

Бұл жұмыста антеннаның биіктігіне байланысты металл қораптың ішіндегі 1 ТГц сымсыз арна жолындағы шығындар моделі келтірілген. Қораптың ішінде толқындар да, резонанстық режимдер де бар екені анықталды. Металл қораптың ішіндегі los таралуын талдау антеннаның биіктігіне байланысты қабылданатын қуаттың өзгеруі металл қораптың ішіндегі алғашқы сегіз те режимі басым болатын резонанстық режимдерге байланысты екенін көрсетеді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 DiTomaso D., Kodi A., Matolak D., S. Kaya, S. Laha, and W. Rayess, «A-WiNoC: Adaptive Wireless Network-on-Chip Architecture for Chip Multiprocessors» // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 26, no. 12, P. 3289–3302, 2015.

2 Shamim M. S., Mansoor N., Narde R. S., Kothandapani V., Ganguly A. and J. Venkataraman, «A Wireless Interconnection Framework for Seamless Inter and Intra-Chip Communication in Multichip Systems», in IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 3, pp. 389-402, 1 March 2017, doi: 10.1109/TC.2016.2605093.

3 Narde R. S., Mansoor N., A. Ganguly, and J. Venkataraman, «On-Chip Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnections: Challenges and Opportunities» // in Proceedings of the EuCAP '18, 2018.

4 Laha S. , Kaya S., Matolak D. W., Rayess W., Tomaso Di D., and A. Kodi, «A New Frontier in Ultra-low Power Wireless Links: Network-on-Chip and Chip-to-Chip. 11. Interconnects.» IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 34, no. 2, P. 186-198, February 2015.

5 Benini L. and Micheli G. De, «Networks on chips: a new SoC paradigm,» IEEE Transactions on Computers, vol. 35, no. 1, P. 70-78, 2002.

6 Kim J., Choi K., and Loh G., «Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication,» IEEE J. Emerg. Sel. Topics Circuits Syst., vol. 2, no. 2, P. 124–136, Jun. 2012

7 Chen Y. and Han C., «Channel modeling and characterization for wireless networks-on-chip communications in the millimeter wave and terahertz bands», IEEE Trans. Mol. Biol. Multi-Scale Commun., vol. 5, no. 1, P. 30-43, Oct. 2019.

8 **Gade S. H. and Deb S.**, «HyWin: Hybrid wireless NoC with sandboxed sub-networks for CPU/GPU architectures,» // IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 7, P. 1145–1158, 2017

9 **Chen Y. and Han C.**, «Channel Modeling and Analysis for Wireless Networks-on-Chip Communications in the Millimeter Wave and Terahertz Bands» // in Proceedings of the INFOCOM WKSHPs '18, 2018.

10 **Kim J., Choi K., and Loh G.**, «Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication» // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2012.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

**R. T. Kassym¹, Z. M. Omirbekoba²,
T. G. Serikov³, A. S. Tolegenova⁴, A. A. Tlenshieva⁵*

^{1,2} Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы,

^{3,4,5} Казахский агротехнический университет исследовательский имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

Принято к изданию 18.09.23.

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОАНТЕННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ

В данной статье представлена модель потерь на трассе беспроводного канала в диапазоне терагерц (ТГц) внутри настольного металлического корпуса в зависимости от высоты антенны. Измерения распространения в зоне прямой видимости (LoS) внутри металлического ящика показывают, что потери на трассе зависят от высоты приемопередатчика от нижней стены, и для некоторых высот потери на трассе ниже, чем значение в свободном пространстве. Анализ, основанный на модах резонатора, показывает, что первые восемь мод te доминируют над резонансными модами внутри ящика. Кроме того, анализ потерь на трассе показывает, что резонансные моды ответственны за сильные волны на кривой потерь на трассе наряду с отражениями внутри ящика. Даже мы представляем модель усредненных по трассе потерь в металлическом корпусе как суперпозицию волновых и резонансных мод. Мы сосредоточились на сценариях распределения потерь с изменением высоты приемопередатчика, анализ потерь в тракте показывает, что как волна, так и резонансный режим влияют на воспринимаемую мощность. Кроме того, для точности моделируем изменение

принимаемой мощности с первыми восемью резонансными модами te . Остальная часть статьи организована следующим образом. Раздел II описывает сценарий измерения, используемый для построения модели стоимости дорог. В разделе III представлены результаты измерений, модель стоимости дорог и обсуждаются полученные результаты. Часть IV - заключение.

Ключевые слова: информация между интерфейсами, микроволновая частота, металлический ящик, широкополосный доступ, мультиантенна.

**R. T. Kassym¹, Z. M. Omirbekoba²,*

T. G. Serikov³, A. S. Tolegenova⁴, A. A. Tlenshieva⁵,

^{1,2} Academy of logistics and transport, Republic of Kazakhstan, Almaty,

^{3,4,5} S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university,

Republic of Kazakhstan, Astana,

Accepted for publication on 18.09.23

OPTIMIZATION MODEL OF ULTRA-WIDEBAND MULTI-ANTENNA WIRELESS DATA TRANSFER BETWEEN INTERFACES

This paper presents the path loss model of Terahertz (THz) wireless channel inside a desktop size metal enclosure as a function of antenna height. Measurements for line-of-sight (LoS) propagation inside the metal box show that path loss varies with respect to the transceiver's height from the bottom wall, and for some heights, the path loss is lower than the free space value. Analysis based on the cavity modes shows that the first eight TE modes dominate the resonating modes inside the box. Also, the path loss analysis indicates that the resonating modes combined with the reflections inside the box are responsible for the strong ripples in the path loss curve. Here, further, we present a model of path-averaged losses in a metal case as a superposition of wave and resonant modes. We focused on loss distribution scenarios with a change in the height of the transceiver; the analysis of losses in the path shows that both the wave and the resonant mode affect the perceived power. In addition, for accuracy, we simulate the variation of the received power with the first eight resonant modes of te . The rest of the article is organized as follows. Section II describes the measurement scenario used to build the road cost model. Section III presents the measurement results, the road cost model, and discusses the obtained results. Part IV - conclusion.

Keywords: information between interfaces, microwave frequency, metal box, broadband, multi-antenna.

<https://doi.org/10.48081/UKDE4219>

А. В. Мануковский¹, *А. Б. Сағындық², О. М. Талипов³

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

e-mail: aiko_90@mail.ru

РАЗРАБОТКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО РАДИОКАНАЛА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ «ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»

В настоящей статье представлены результаты испытания разработанного авторами оборудования для организации помехоустойчивой передачи данных в аппаратной «зеленой энергетики» Торайғыров университета по радиоканалу. Наличие такого оборудования необходимо для организации мониторинга работы солнечно-ветровой электростанции (СВЭС) на основе беспроводных технологий. Перед началом разработки была экспериментально исследована сигнально-помеховая обстановка в помещении аппаратной на частотах в диапазоне до 1 ГГц, не подлежащих государственному лицензированию. Исследования с помощью панорамного USB-приемника показали, что в диапазонах 315, 433 и 868 МГц степень загрузки эфира примерно одинакова. Для организации помехоустойчивой передачи данных были спроектированы и изготовлены экспериментальные микроконтроллерные передатчик и приёмник с использованием стандартных радиомодулей цифровых передатчиков мощностью 10 мВт и приёмников чувствительностью –106 дВм в диапазоне 433 МГц. Предложены структурные схемы аппаратной части приёмника и передатчика и описан принцип их работы во взаимодействии. Разработано программное обеспечение для микроконтроллеров, управляющих процессами передачи, отображения и протоколирования принятых данных. Приведены заложенные в программы алгоритмы передачи и приёма цифровых данных с элементами отстройки от помех, позволяющие записывать принятые по радиоканалу данные на жёсткий диск персонального компьютера (ПК) и отображать их на мониторе ПК и на экране жидко-кристаллического индикатора (ЖКИ).

В статье приведены также фрагменты записей длительных экспериментов по передаче данных с помощью разработанных пар «передатчик-приёмник». Их анализ показывает, что предложенное оборудование и программное обеспечение позволяет организовать надёжный радиоканал для организации мониторинга основных параметров работы СВЭС в аппаратной «Зеленой энергетики».

Ключевые слова: передатчик, приемник, микроконтроллер, сигнально-помеховая обстановка, помехоустойчивый радиоканал, солнечно-ветровая электростанция.

Введение

Необходимость мониторинга солнечно-ветровых электростанций (СВЭС), как и любого другого технологического оборудования, сегодня ни у кого не вызывает сомнений [1-4]. Для сбора информации о текущих значениях ключевых параметров работы СВЭС необходимо выбрать наиболее подходящие методы передачи данных в зависимости от конкретных обстоятельств. Режимы передачи делятся на проводные и беспроводные [5].

В аппаратной «Зеленой энергетики» расстояние передачи находится в пределах 5 м, и передаваемые пакеты данных короткие. Учитывая также требование минимального вмешательства в область монтажа силовой проводки, в нашем случае выгоднее выбрать беспроводной способ передачи [6]. В большинстве стран есть правительственные агентства, отвечающие за распределение и контроль использования диапазона радиочастот для беспроводной передачи данных. Спектр выделяется в лицензионных полосах частот (которые регулирующие органы выделяют для отдельных операторов) или в нелицензируемых полосах (которые могут использоваться любыми субъектами рынка в соответствии с определенными системными требованиями). В РК нелицензируемыми являются диапазоны частот 315, 433 и 868 МГц [7]. При организации проектировании радиолинии следует изучить радиопомеховую обстановку в точке приема [8-10], которая образуется как от естественных (прогнозируемых), так и от случайных (непрогнозируемых) источников.

Материалы и методы

Исследование помеховой обстановки в аппаратной «Зеленой энергетики» было проведено двумя способами:

1) с помощью панорамного приёмника MSi.SDR с интерфейсом USB, внешний вид и структурная схема которого приведены на рисунке 1. Частотный диапазон этого приёмника ограничен величиной 1 ГГц.

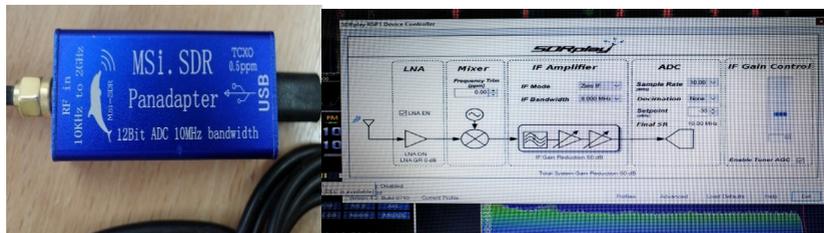


Рисунок 1 – Внешний вид и структурная схема панорамного приемника MSi-SDR

2) с помощью специально изготовленных пар «передатчик-приёмник». И передатчик, и приемник управляются микроконтроллерами. Внешний вид и структурная схема передатчика приведена на рисунке 2.

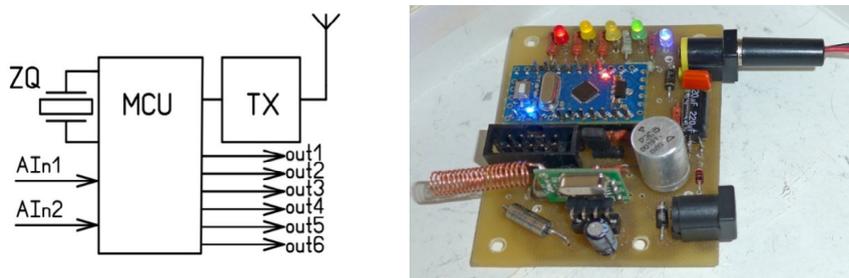


Рисунок 2 – Структурная схема и внешний вид опытного образца передатчика

Микроконтроллер передатчика MCU, частота тактового генератора которого стабилизирована кварцевым резонатором ZQ, с помощью встроенного АЦП измеряет напряжения, подаваемые на разъёмы (рис. 2), а также считывает состояние шести выходов порта Out1...Out6, индицируя его светодиодами. Эти данные упаковываются в 5 байт, к ним добавляются два байта контрольной суммы, и с помощью радиопередающего модуля TX мощностью 10 мВт с периодичностью в две секунды отправляются в эфир на частоте 433 МГц в виде пяти одинаковых посылок в коде Manchester II. Алгоритм, заложенный в программу передатчика, показан на рисунке 3.

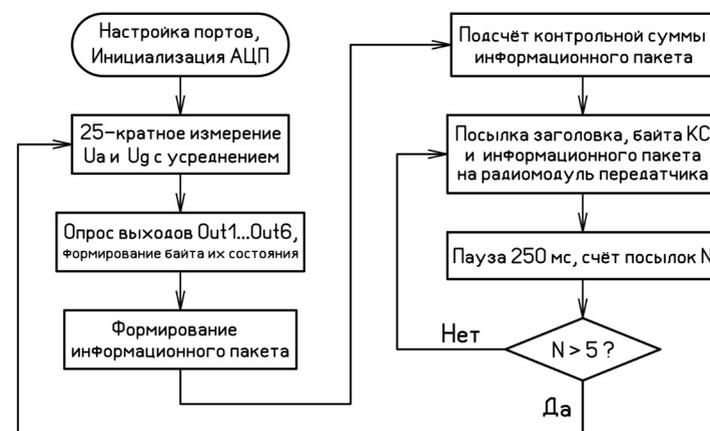


Рисунок 3 – Алгоритм программы передатчика

На приёмной стороне (рисунок 4) микроконтроллер МК подсчитывает контрольную сумму (КС) посылки, и в случае совпадения контрольных сумм на стороне передачи и приёма принятый код расшифровывается. Принятая информация, дополненная информацией о текущем времени из часов реального времени (RTC), каждые 2 секунды отображается на экране двухстрочного жидкокристаллического индикатора приёмника (LCD), и один раз в 10 секунд отправляется через преобразователь UART–USB на USB-порт персонального компьютера (ПК). Информация из виртуального COM-порта ПК отображалась на экране его монитора и одновременно записывалась в Log-файл на жёстком диске компьютера. Часы реального времени RTC связаны с микроконтроллером по интерфейсу I2C линиями SCL и SDA.

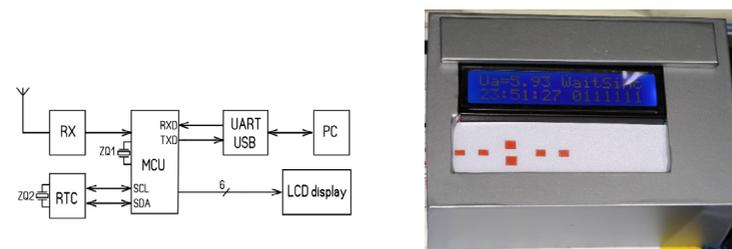


Рисунок 4 – Структурная схема и внешний вид приемника
Резонатор ZQ1 применяется для повышения стабильности расшифровки кода Manchester II, а ZQ2 обеспечивает точность хода часов реального

времени.

Алгоритм программы приемника приведён на рисунке 5.

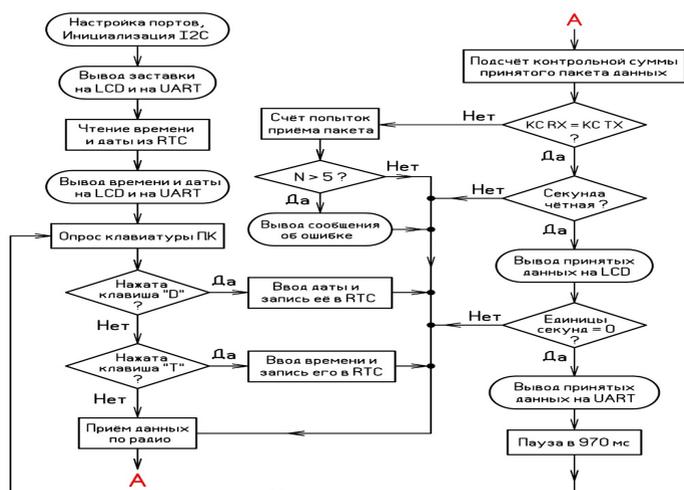


Рисунок 5 – Алгоритм программы приемника

Результаты и обсуждение

Результаты исследования помеховой обстановки на нелицензируемых частотах в аппаратной «Зеленой энергетики» приведены на рисунках 5-7.

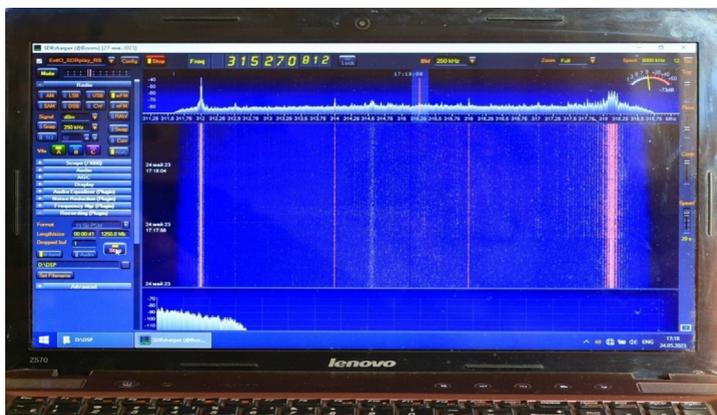


Рисунок 5 – Сигнально-помеховая обстановка в аппаратной «зеленой энергетики» на частоте 315 МГц

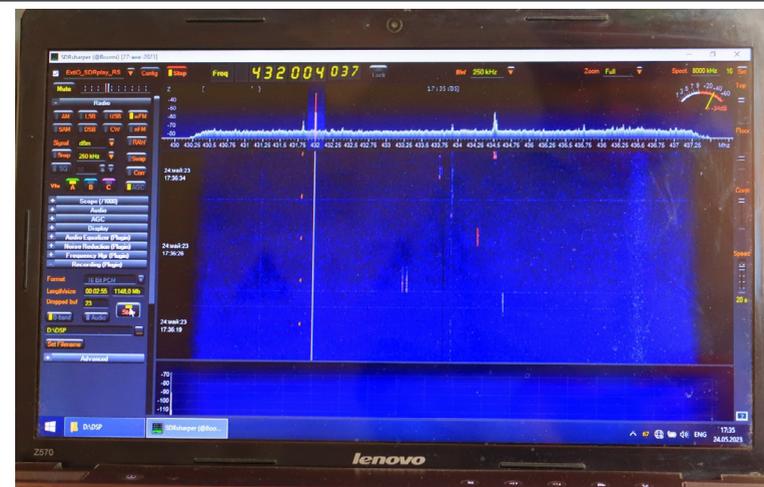


Рисунок 6 – Сигнально-помеховая обстановка в аппаратной «зеленой энергетики» на частоте 433 МГц

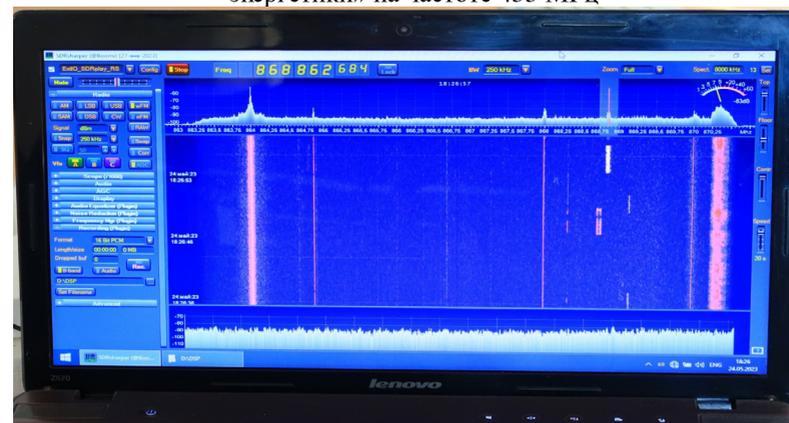


Рисунок 7 – Сигнально-помеховая обстановка в аппаратной «зеленой энергетики» на частоте 868 МГц

Из сравнения рисунков 5–7 видно, что все три нелицензируемых радиодиапазона загружены примерно одинаково. Для экспериментальной проверки возможности надёжной передачи данных в аппаратной «Зеленой энергетики» был выбран диапазон 433 МГц, и были спроектированы и изготовлены вышеописанные приёмник и передатчик. Для проверки помехоустойчивости проводились длительные испытания разработанного

оборудования, в процессе которых на диск ПК с частотой, в 150 раз превышающей реально необходимую, непрерывно записывались в Log-файл как принятые данные, так и сообщения о помехах, препятствующих пересылке отдельных пакетов данных. Начальные фрагменты этих записей приведены на рисунке 8.

В Log-файлах фиксируются напряжение питания передатчика, напряжение имитатора солнечной батареи, состояние выходов Out1...Out6 и электрических нагрузок Big и Small, привязанные к текущим времени и дате. Зафиксированные в Log-файле на рисунке 8 помехи случались в начале испытания, когда мы находились с сотовыми телефонами в непосредственной близости от приёмника, а также в моменты постановки и снятия с сигнализации припаркованных вблизи автомобилей перед началом и после окончания рабочего дня. Стоит отметить, что следствием помех в подавляющем большинстве случаев были лишь кратковременные пропуски приёма передаваемых пакетов, и их действие не приводило к искажению принятой информации. Анализ сотен остальных записанных фрагментов Log-файлов, не приведенных в статье из-за ограничения её объёма, показывает, что сбои передачи очень редки и составляют приблизительно 1 случай на 10000.

```

Файл Правка Вид Кодировка Справка
Monitoring Data & Status by Green Power Station Ver.03.7.2 Normal Speed
Press <T> for Setting of the current Time or <D> for Setting of the Date!
Press Button <Right> on Arduino for Setting Sec = 00!
Date [MM/DD/YY]: 06/01/23 T= 18:11:47
T - Time, St - Status, Ua - Accumulator Voltage
Ug - GreenPower Voltage, Big - Big Power Load, Sml - Small Power Load
T= 18:12:00 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:12:10 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:12:20 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:12:30 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:12:50 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:13:00 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:13:20 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:13:30 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:13:40 St: 00000000 Ua= 0.00 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =Off
T= 18:14:40 St: 00000000 Ua= 0.00 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =Off
T= 18:14:50 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:15:00 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:15:10 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:15:30 St: 00000000 Ua= 0.00 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =Off
T= 18:15:40 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:16:00 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:16:20 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:16:30 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:16:50 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:17:00 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:17:10 St: 00111111 Ua= 9.63 Ug= 0.02 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:17:20 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:17:30 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:17:40 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
Date: 01-06-23
T= 18:17:50 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:18:00 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:18:10 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:18:20 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
T= 18:18:30 St: 00111111 Ua= 8.26 Ug= 0.00 U, Big =Off, Sml =On
    
```

T= 18:18:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:18:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:18:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:19:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:19:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:19:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:19:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:19:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:19:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:20:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:20:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:20:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:20:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:20:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:20:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:21:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:21:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:21:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:21:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:21:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
Date: 01-06-23					
T= 18:21:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:22:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:22:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:22:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:22:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:22:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:22:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:23:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:23:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:23:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:23:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:23:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:23:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:24:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:24:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:24:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:24:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:24:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:24:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:25:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:25:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:25:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:25:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:25:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:25:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:26:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:26:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:26:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:26:30	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:26:40	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
Date: 01-06-23					
T= 18:26:50	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:27:00	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:27:10	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On
T= 18:27:20	St: 00111111	Ua= 8.26	Ug= 0.00 U	Big =Off	Sml =On

Рисунок 8 – Результаты испытаний разработанной пары «передатчик-приёмник»

При оценке реальной помехоустойчивости разработанного радиоканала следует учесть, что частота передачи информационных пакетов в режиме испытаний была специально завышена в 150 раз. Вместо 1 раза в 5 минут, необходимого для мониторинга работы реальной СВЭС, при испытаниях они передавались 1 раз в 2 секунды. Поэтому в реальности ожидаемая частота сбоев не превысит 1 на (10000*150 =) 1,5 миллиона переданных пакетов.

Информация о финансировании

В статью включены результаты исследований, выполненных в рамках грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас галым» на 2022-2024 годы по проекту ИРН AP15473220 «Совершенствование алгоритмов работы солнечно-ветровой электростанции», финансируемого Комитетом Науки МНВО РК.

Выводы

Описанные в статье приёмник и передатчик с микроконтроллерным управлением позволяют организовать на их основе помехоустойчивый радиоканал для сбора информации об основных параметрах работы СВЭС в аппаратной «Зеленой энергетики» ТоУ.

Во всех исследованных диапазонах до 1 ГГц сигнально-помеховая обстановка оказалась примерно одинаковой. Описание аналогичных

исследований в диапазоне 2,4 ГГц выходит за рамки ограничений по объёму данной статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Мануковский А. В., Сагындык А.Б.** Выбор датчиков тока для мониторинга работы солнечно-ветровых электростанций // Вестник Торайгыров университета. – 2022. – №4. – С. 212–225.

2 **Biegańska, M.** IoT-Based Decentralized Energy Systems // Energies. – 2022. – № 21(15). – 7830. <https://doi.org/10.3390/en15217830>

3 **Drikakis, D., Dbouk, T.** The Role of Computational Science in Wind and Solar Energy: A Critical Review // Energies. – 2022. – №24(15). – 9609. <https://doi.org/10.3390/en15249609>

4 **Jaen-Cuellar, A. Y., Elvira-Ortiz, D. A., Osornio-Rios, R. A., Antonino-Daviu, J. A.** Advances in Fault Condition Monitoring for Solar Photovoltaic and Wind Turbine Energy Generation: A Review // Energies. – 2022. – №15(15). – 5404. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.3390/en15155404>

5 **Абилов, А. В.** Сети связи и системы коммутации: учебное пособие для вузов. – М. : Радио и связь, 2004. – 288 с.

6 **Goussevskaia, O., Pignolet, Y.-A., Wattenhofer, R.** Efficiency of Wireless Networks: Approximation Algorithms for the Physical Interference Model // Foundations and Trends® in Networking. – 2010. – Vol. 4. – №3. – P. 313-420. [Electronic resource] – <http://dx.doi.org/10.1561/1300000019>

7 [Electronic resource] – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010730>

8 **Козубцов, И. Н.** Дистанционный подход к построению системы сбора, анализа частотной и помеховой обстановки коротковолнового диапазона частот // Научное обозрение. – 2018. – № 2. – С. 5–10.

9 **Jafar, S. A.** Interference Alignment — A New Look at Signal Dimensions in a Communication Network // Foundations and Trends® in Communications and Information Theory. – 2011. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–134. [Electronic resource] – <http://dx.doi.org/10.1561/01000000047>

10 **Габриэльян, Д. Д., Звездина, М. Ю., Безуглов, Е. Д., Новиков, А. Н.** Оптимальный метод обработки сигналов в сложной сигнально-помеховой обстановке // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. – № 4. – Т. 7 – С. 19–23.

REFERENCES

1 **Manukovskij, A. V., Sagyndyk, A. B.** Vybor datchikov toka dlya monitoringa raboty solnechno-ventrovyh elektrostancij [Selection of current sensors

for monitoring of working of solar-wind power plants] // Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2022. – № 4. – P. 212–225.

2 **Biegańska, M.** IoT-Based Decentralized Energy Systems // Energies. – 2022. – № 21(15). – 7830. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.3390/en15217830>

3 **Drikakis, D., Dbouk, T.** The Role of Computational Science in Wind and Solar Energy : A Critical Review // Energies. – 2022. – № 24(15). – 9609. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.3390/en15249609>

4 **Jaen-Cuellar, A. Y., Elvira-Ortiz, D. A., Osornio-Rios, R. A., Antonino-Daviu, J. A.** Advances in Fault Condition Monitoring for Solar Photovoltaic and Wind Turbine Energy Generation: A Review // Energies. – 2022. – №15(15). – 5404. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.3390/en15155404>

5 **Абилов, А. В.** Seti svyazi i sistemy kommutacii [Communication networks and switching systems] : uchebnoe posobie dlya vuzov. – Moscow : Radio i svyaz', 2004. – 288 p.

6 **Goussevskaia, O., Pignolet, Y.-A., Wattenhofer, R.** Efficiency of Wireless Networks: Approximation Algorithms for the Physical Interference Model // Foundations and Trends® in Networking. – 2010. – Vol. 4. – № 3. – P. 313–420. [Electronic resource] – <http://dx.doi.org/10.1561/1300000019>

7 [Electronic resource] – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010730>

8 **Kozubcov, I. N.** Distancionnyj podhod k postroeniyu sistemy sbora, analiza chastotnoj i pomekhoj obstanovki korotkovolnovogo diapazona chastot [Remote approach to building a system for collecting, analyzing the frequency and noise environment of the short-wave frequency range] // Nauchnoe obozrenie. – 2018. – № 2. – P. 5-10.

9 **Jafar, S. A.** Interference Alignment — A New Look at Signal Dimensions in a Communication Network // Foundations and Trends® in Communications and Information Theory. – 2011. – Vol. 7. – № 1. – P. 1-134. [Electronic resource] – <http://dx.doi.org/10.1561/01000000047>

10 **Gabriel'yan, D. D., Zvezdina, M. YU., Bezuglov, E. D., Novikov, A. N.** Optimal'nyj metod obrabotki signalov v slozhnoj signal'no-pomekhoj obstanovke [The optimal signal processing method in a complex signal-interference environment] // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2011. – № 4. – Т. 7 – P. 19–23.

Принято к изданию 18.09.23.

А. В. Мануковский¹, *Ә. Б. Сағындық², О. М. Талипов³

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

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

«ЖАСЫЛ ЭНЕРГИЯ» ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЖҰМЫСЫНДА МОНИТОРИНГ ҰЙЫМДАСТЫРУ ҮШІН КЕДЕРГІГЕ ТӨЗІМДІ РАДИО АРНА ӘЗІРЛЕУ

Бұл мақалада Торайғыров университетінің «жасыл энергия» аппараттық құралында радиоарна арқылы кедергіге төзімді деректерді таратуды ұйымдастыруға арналған авторлармен әзірлеген құралдың сынақ нәтижелері берілген. Мұндай құралдың болуы сымсыз технологиялар негізінде күн-жәсел электр станциясының (КЖЭС) жұмысын бақылауды ұйымдастыру үшін қажет. Құралды әзірлеуді бастамас бұрын аппараттық бөлмедегі мемлекеттік лицензиялауға жатпайтын 1 ГГц-ке дейінгі диапазондағы жиіліктерде радиокедергілер ортасы эксперименталды түрде зерттелді. Панорамалық USB ресиверін пайдаланған зерттеулер 315, 433 және 868 МГц диапазонында эфирдің кептелу дәрежесі шамамен бірдей екенін көрсетті. Кедергіге төзімді деректерді беруді ұйымдастыру үшін 433 МГц диапазонында қуаты 10 мВт цифрлық таратқыштар мен сезімталдығы –106 дБм қабылдағыштардың стандартты радиомодульдерін қолдану арқылы тәжірибелік микроконтроллер таратқышы мен қабылдағышы жобаланған және жасалған. Қабылдағыш пен таратқыштың аппараттық құралдарының құрылымдық сұлбалары ұсынылған және олардың өзара әрекеттесудегі жұмыс істеу принципі сипатталған. Қабылданған мәліметтерді беру, көрсету және тіркеу процестерін басқаратын микроконтроллерлер үшін бағдарламалық қамтамасыз ету әзірленді. Радиоарна арқылы алынған деректерді дербес компьютердің (ДК) қатты дискісінде жазуға және оларды ДК мониторында, сонымен қатар сұйық кристалды дисплейде (СКД) көрсетуге мүмкіндік беретін бағдарламаларға енгізілген кедергіге қарсы элементтері бар цифрлық деректерді беру және қабылдау алгоритмдері ұсынылған.

Мақалада сондай-ақ әзірленген таратқыш-қабылдағыш жұптары арқылы деректерді беру бойынша ұзақ мерзімді эксперименттердің жазбаларының фрагменттері бар. Олардың талдауы ұсынылған жабдық пен бағдарламалық қамтамасыз ету «жасыл энергетика» бөлмесінде КЖЭС жұмысының негізгі параметрлерінің мониторингін

ұйымдастыру үшін сенімді радиоарнаны ұйымдастыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Кілтті сөздер: таратқыш, қабылдағыш, микроконтроллер, сигнал-кедергі ортасы, кедергіге төзімді радиоарна, күн-жәсел электр станциясы.

А. V. Manukovsky¹, *A. B. Sagyndyk², O. M. Talipov³

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

Accepted for publication on 18.09.23

DEVELOPMENT OF AN interference-resistant RADIO CHANNEL TO ORGANIZE MONITORING OF THE OPERATION OF THE «GREEN ENERGY» POWER PLANT

This article presents the results of testing the equipment developed by the authors for organizing interference-resistant data transmission in the hardware «green energy» of Toraigyrov University via radio. The presence of such equipment is necessary for organizing monitoring of the operation of a solar-wind power plant (SWPP) based on wireless technologies. Before the start of development, the radio interference environment in the control room was experimentally studied at frequencies in the range up to 1 GHz, which are not subject to state licensing. Studies using a panoramic USB receiver showed that in the ranges of 315, 433 and 868 MHz, the degree of ether congestion is approximately the same. To organize interference-resistant data transmission, experimental microcontroller transmitter and receiver were designed and manufactured using standard radio modules of digital transmitters with a power of 10 mW and receivers with a sensitivity of –106 dBm in the 433 MHz band. Block diagrams of the hardware of the receiver and transmitter are proposed and the principle of their operation in interaction is described. Software has been developed for microcontrollers that control the processes of transmission, display and logging of received data. Algorithms for transmitting and receiving digital data with anti-interference elements embedded in the programs are presented, which allow recording the data received over the radio channel on the hard disk of a personal computer (PC) and displaying them on a PC monitor and on a liquid crystal display (LCD).

The article also contains fragments of recordings of long-term experiments on data transmission using the developed transmitter-receiver pairs. Their analysis shows that the proposed equipment and software

makes it possible to organize a reliable radio channel for organizing monitoring of the main parameters of the SWPP operation in the «Green Energy» control room.

Keywords: transmitter, receiver, microcontroller, signal-interference environment, interference-resistant radio channel, solar-wind power plant.

МРНТИ 44.33.31

<https://doi.org/10.48081/VNXK5290>

***Е. А. Мартыненко¹, Н. К. Ердыбаева², А. С. Акаев³,
М. К. Бекмулдин⁴, А. А. Туркач⁵**

^{1, 2, 5}Восточно-Казахстанский технический университет имени
Д.Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

^{1, 3, 4, 5}Филиал «Институт Атомной Энергии» РГП НЯЦ РК,
Республика Казахстан, г. Курчатов

e-mail: Kirichek@nnc.kz

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТВС РЕАКТОРА ИВГ.1М

В настоящей статье представлены результаты компьютерного моделирования распределения температуры воды и твэла по высоте ТВС реактора ИВГ.1М на различных уровнях мощности работы реактора. Система регистрации теплотехнических параметров реактора ИВГ.1М не позволяет определять распределение температур в активной зоне, поэтому для этой цели применяются современные программные комплексы. В статье приведено краткое описание устройства реактора, комплектации активной зоны и ТВС. Подробно описана методика проведения расчетов, представлена расчетная модель, а также приведены результаты моделирования. Для проведения исследования была использована программа ANSYS Fluent, реализующая метод конечных элементов. В ходе проведения исследования было проведено сравнение расчетных данных с экспериментальными, что подтверждает достоверность результатов расчета. Данные исследования были проведены для разработки и верификации расчетной модели, которая может быть использована для определения теплофизических условий работы активной зоны, а также для анализа теплопереноса и гидравлических процессов в ТВС при обосновании безопасной работы реактора на различных уровнях стационарной мощности. Расчетная модель была использована в качестве одного из инструментов при определении теплофизических характеристик реактора с новой активной зоной.

Ключевые слова: ИР ИВГ.1М, твэл, температурное поле, компьютерное моделирование, ТВС, теплофизический расчет.

Введение

В настоящее время в Национальном ядерном центре Республики Казахстан успешно завершается проект по замене активной зоны исследовательского реактора ИВГ.1М с высокообогащенного уранового топлива (ВОУ) на топливо низкого обогащения (НОУ), содержащее менее 20% урана-235 [1]. Конверсия реактора была проведена в рамках международной программы по снижению обогащения топлива исследовательских реакторов. Целью данной программы является снижение использования ВОУ топлива поскольку оно может быть использовано для создания ядерного оружия. За период с октября 2022 по февраль 2023 года была проведена серия энергетических пусков реактора, по результатам которой было определено, что теплофизические параметры новой активной зоны соответствуют значениям нормальной эксплуатации. В связи с введением в эксплуатацию новой активной зоны реактора будет возобновлено проведение научно-исследовательских работ.

ИВГ.1М представляет собой исследовательский водо-водяной гетерогенный корпусной ядерный реактор на тепловых нейтронах. В качестве теплоносителя и замедлителя используется вода, в качестве отражателя нейтронов – бериллий. Технологическая схема реактора приведена на рисунке 1.

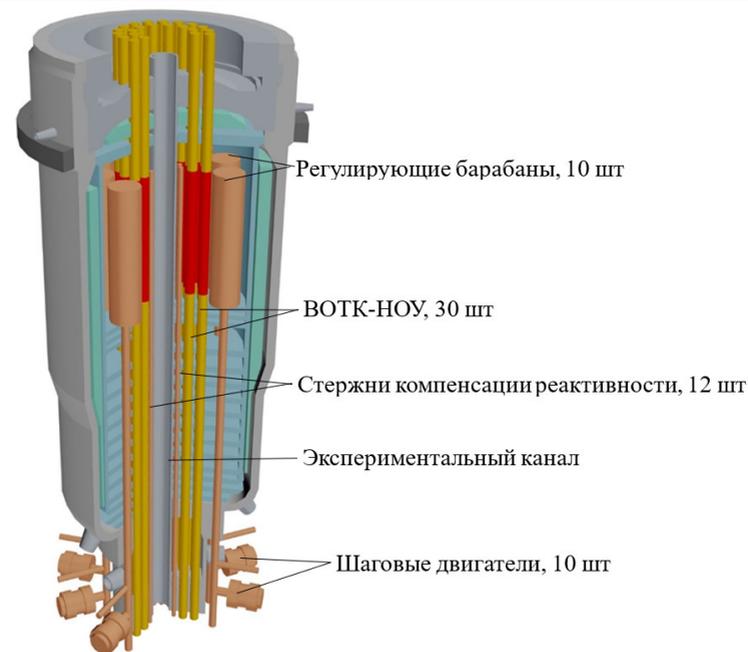


Рисунок 1 – Технологическая схема реактора ИВГ.1М

Активная зона (АЗ) реактора представляет собой набор из 30 водоохлаждаемых технологических каналов (ВОТК-НОУ) содержащих тепловыделяющие сборки (ТВС). Каналы расположены по трем радиально расположенным рядам. Высота каналов первого и второго ряда составляет 800 мм, высота каналов третьего ряда 600 мм.

Максимальная тепловая мощность реактора оценивается в 60 МВт, однако исследовательские пуски ограничиваются мощностью не более 10 МВт в связи с тем, что действующая система охлаждения реактора не может обеспечить достаточный расход воды для реализации максимальной мощности. На сегодняшний день вопрос модернизации системы охлаждения реактора с целью обеспечения безопасной работы реактора на более высоком уровне стационарной мощности является актуальным.

При проведении типового пуска реактора для охлаждения используются три насоса 4МСК-10, обеспечивающие общий расход воды ~ 65 кг/с. Охлаждение реактора осуществляется по замкнутой одноконтурной схеме. В номинальном режиме работы реактора вода по четырем трактам поступает на охлаждение петлевого канала, крышки реактора, бокового отражателя

и центральной сборки с активной зоной. Для забора воды на охлаждение реактора и слива воды из трактов охлаждения используется накопительная емкость объемом 1500 м³.

Охлаждение активной зоны реактора осуществляется следующим образом. Сначала вода из раздаточного коллектора движется вверх, омывая внешние поверхности стенок каналов. В верхней части каждый технологический канал имеет 4 щелевых отверстия, через которые вода поступает в ВОТК-НОУ, охлаждает тепловыделяющую сборку и затем, пройдя по всей длине технологического канала вниз, сливается из реактора.

На рисунке 2 приведен общий вид комплекта стержней для ТВС с топливом низкого обогащения.

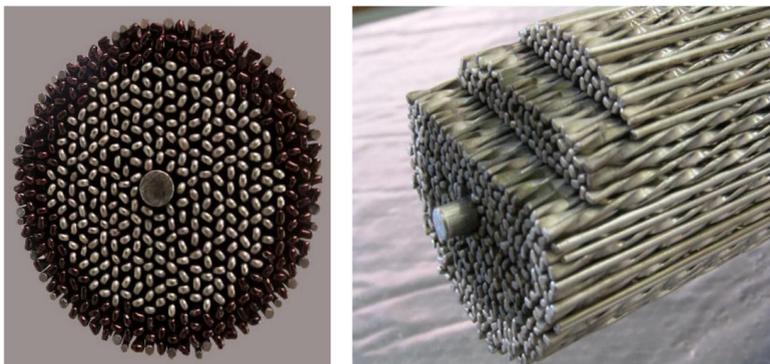
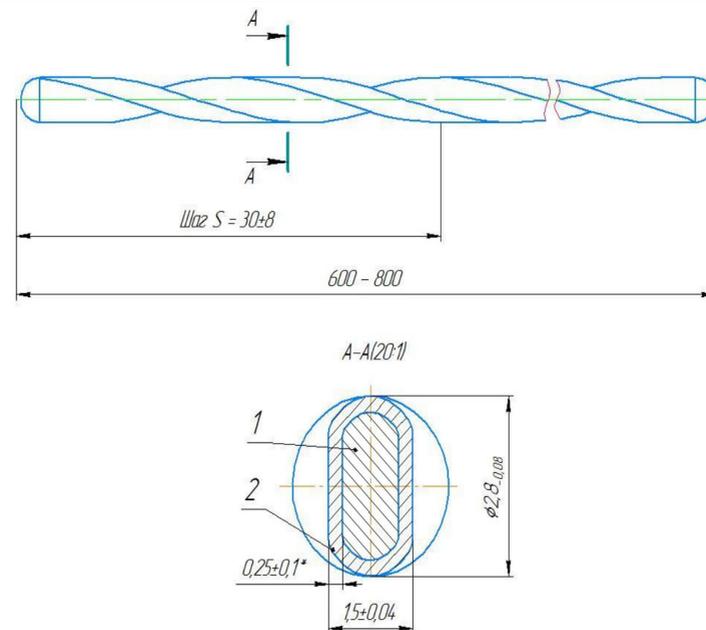


Рисунок 2 – Общий вид комплекта стержней для одной ТВС-НОУ
Эскиз твэла с основными размерами приведен на рисунке 3 [2].



1-сердечник, 2-оболочка
Рисунок 3 – Эскиз твэла

Твэл в ВОТК-НОУ имеет уникальный состав. Оболочка твэла выполнена из сплава Э110, сердечник представляет матрицу из сплава Э110 с размещенными в ней изолированными друг от друга волокнами металлического урана.

Для определения мощности, реализованной в ВОТК-НОУ во время проведения пусков, используются зарегистрированные значения температуры воды на входе в ТВС и на выходе из каждого канала, а также значения расхода воды в каждом канале. Система регистрации теплотехнических параметров реактора не позволяет определять распределение температурных значений воды и конструкционных материалов по высоте ТВС, поэтому для этих целей успешно используются методы компьютерного моделирования [3, 4], при этом каждая из компьютерных моделей имеет свои недостатки и допущения.

В настоящей статье приведены результаты компьютерного моделирования распределения температуры воды и твэла по высоте ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М. Для проведения расчетов была построена трехмерная модель, представляющая собой симметричный участок ТВС с одним твэлом и теплоносителем. Приведенная модель была использована для определения

теплофизических характеристик активной зоны с топливом низкого обогащения, а также может быть использована в дальнейшем для определения теплофизических условий работы активной зоны, анализа теплопереноса и гидравлических процессов в ТВС при обосновании безопасной работы реактора на различных уровнях стационарной мощности.

Материалы и методы

Теплофизические расчеты проведены с использованием программного комплекса ANSYS release 2021R2, предназначенного для решения задач гидродинамики и теплообмена с использованием численных методов [5].

Для моделирования теплофизических процессов в программном комплексе необходима реализация следующих этапов [6]:

- создание геометрии расчетной модели;
- построение конечно-элементной сетки;
- задание начальных и граничных условий расчета;
- задание свойств материалов;
- проведение решения и интерпретация результатов.

Моделирование распределения температур было проведено для ВОТК-НОУ первого ряда, поскольку в этом ряду расположены самые теплонапряженные ТВС активной зоны реактора.

Для проведения расчетов построена трехмерная расчетная модель, которая имитирует симметричный сектор ТВС с теплоносителем и одним твэлом. Расчетная модель с конечно-элементной сеткой, используемая при проведении исследования приведена на рисунке 4.

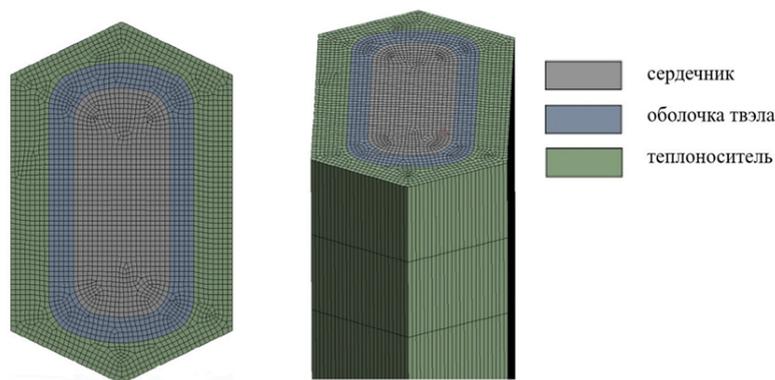


Рисунок 4 – Расчетная модель

При проведении теплофизического расчета с использованием компьютерной модели были заданы приведенные ниже граничные условия: на боковые грани модели наложено условие симметрии; при задании условий течения теплоносителя использованы условия скорости потока на входе (velocity inlet) и выхода потока (outflow); давление в тракте охлаждения принято равным 1 МПа; учтено неравномерное энерговыделение по высоте сборки, заданное с помощью текстового файла с профилем.

Значения энерговыделения для проведения расчета взяты по данным нейтронно-физических расчетов [7].

Для проведения расчета свойства материалов взяты из справочной литературы [8-10] и заданы в виде функциональной зависимости от температуры.

Конечно-элементная сетка модели содержит 663228 узлов и 626400 элементов. Сходимость решения достигается путем итеративного процесса, критерий сходимости решателя установлен на уровне $1 \cdot 10^{-7}$.

Результаты и обсуждение

Верификация расчетной модели была проведена с использованием результатов трех экспериментов с различным уровнем стационарной мощности реактора. В качестве исходных данных для проведения расчета были использованы зарегистрированные во время проведения экспериментов значения температуры воды на входе в ТВС и расхода воды в канале. Энерговыделение по длине сборки было задано в соответствии с реализованной на экспериментах тепловой мощностью реактора.

В таблице 1 приведены условные названия экспериментов, экспериментальные теплотехнические параметры ВОТК-НОУ, а также значения температуры воды на выходе из ТВС, полученные в результате расчета.

Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные значения теплофизических параметров активной зоны

Параметр	ЭП-22-02		ЭП-22-04		ЭП-22-05	
	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет
Тепловая мощность реактора, МВт	2,00	-	6,06	-	10,21	-
Температура воды на входе в ТВС, °С	17,8	-	19,8	-	26,4	-

Параметр	ЭП-22-02		ЭП-22-04		ЭП-22-05	
	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет
Расход воды через ВОТК-НОУ, кг/с	2,09	-	2,12	-	2,13	-
Температура воды на выходе из ВОТК-НОУ, °С	26,68	25,9	47,20	46,4	71,8	68,1

Как показывают данные, приведенные в таблице 1, максимальное отклонение расчетной температуры воды на выходе из ТВС отличается от значений полученных во время проведения экспериментов не более чем на 3,7 °С, что говорит о достоверности выбранной расчетной модели.

На рисунке 5, в качестве примера, приведено расчетное температурное поле модели при мощности работы реактора 10,22 Вт, а также температурное поле поперечного разреза модели на уровне максимального энерговыделения (0,49 м).

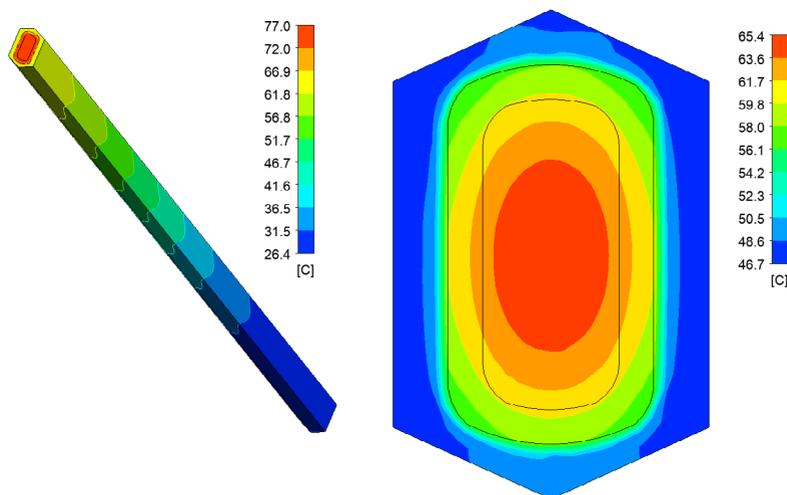


Рисунок 5 – Температурное поле модели (слева-распределение по высоте, справа-распределение поперечного сечения)

Распределение расчетных значений максимальной температуры сердечника твэла, максимальной температуры внешней поверхности оболочки твэла и средней температуры воды по длине канала при стационарной мощности реактора 10,22 МВт приведено на рисунке 6.

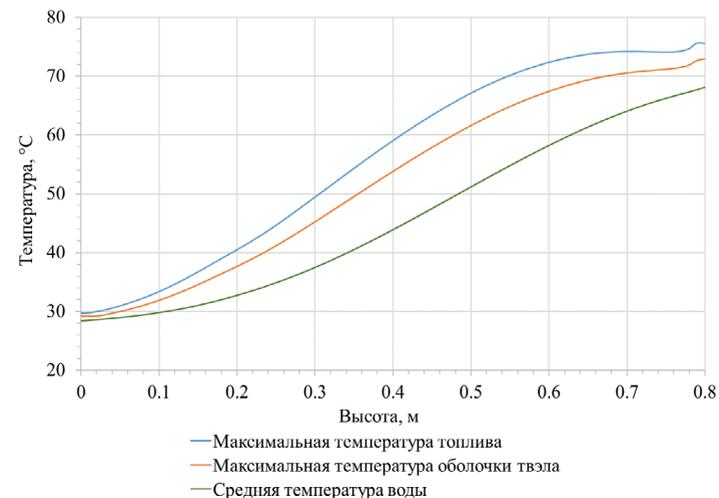


Рисунок 6 – Расчетное распределение температуры воды и твэла по высоте ВОТК-НОУ

Выводы

В результате расчетных исследований была построена трехмерная модель в программном комплексе ANSYS Fluent, которая позволяет определять распределение температуры воды и твэла по высоте ТВС реактора ИВГ.1М. Компьютерная модель успешно прошла верификацию по экспериментальным данным, что подтверждает достоверность расчетных результатов. Недостатком модели является то, что при построении модели не учтена витая структура твэла, что могло повысить точность расчета. Компьютерная модель также не учитывает теплообмен между теплоносителем и внешней поверхностью стенки ВОТК-НОУ.

Расчетная модель была использована в качестве одного из инструментов при определении теплофизических характеристик реактора с новой активной зоной, а также может быть использована в дальнейшем для анализа теплопереноса и гидравлических процессов в ТВС при обосновании безопасной работы реактора на различных уровнях стационарной мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Irkimbekov, R. A., Gnyrya, V. S., Prozorova, I. V., Hanan, Nelson A., Garner, Patrick L., Stevens, John G.** The IVG.1M Reactor Conversion : Current State and Prospects–Budapest: European research reactor conference, 6–10 June 2022. – P. 296–299.
- 2 **Хасенова, С. М., Степанова, О. А., Акаев, А. С., Мартыненко, Е. А., Сураев, А. С.** Анализ теплового состояния твэла ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М при отслоении топливного сердечника от оболочки // Вестник НЯЦ РК. – 2022. – №3. – С. 21-25. – <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-21-25>
- 3 **Хажидинов, А. С., Гановичев, Д. А., Акаев, А. С., Мартыненко, Е. А., Хажидинова, А. Р.** Валидация теплофизической модели ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 3. – С. 45–49. [Электронный ресурс] – <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-3-45-49>
- 4 **Хажидинов, А. С., Акаев, А. С., Гановичев, Д. А.** Расчет температурного поля ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М по оптимизированной и усовершенствованной моделям // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – №3 – С. 76-80. [Электронный ресурс] – <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2019-3-76-80>
- 5 ANSYS release 2021 R2. Documentation for ANSYS WORKBENCH // ANSYS Inc. – 2021.
- 6 **Бруяка, А., Фокин, В. Г., Солдусова, Е. А., Глазунова, Н. А., Адеянов, И. Е.** Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб.пособ. Самара: Самар.гос.техн.ун-т. – 2010. – 217 с.
- 7 **Sabitova, R. R., Prozorova, I. V., Irkimbekov, R. A., Popov, Yu. A., Bedenko, S. V., Prozorov, A. A., Mukhamediyev, A. K.** Methods to study power density distribution in the IVG.1M research reactor after Conversion // Applied Radiation and Isotopes. – 2022. – Volume 185. – 110259. [Электронный ресурс] – <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110259>
- 8 **Ривкин, С. Л., Александров, А. А.** Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 84 с.
- 9 **Беляев, Л. А., Воробьев, А. В., Гаврилов, П. М., Гвоздяков, Д. В., Губин, В. Е.** Топливо и материалы ядерной техники : Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2010. – 275 с.
- 10 Thermophysical Properties of Materials For Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data // INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. – Vienna. – 2008. 2000 p.

REFERENCES

- 1 **Irkimbekov, R. A., Gnyrya, V. S., Prozorova, I. V., Hanan Nelson A., Garner Patrick L., Stevens John G.** The IVG.1M Reactor Conversion: Current State and Prospects – Budapest: European research reactor conference, 6–10 June 2022. – P. 296–299.
- 2 **Khasenova, S. M., Stepanova, O. A., Akaev, A. S., Martynenko, Y. A., Suraev, A. S.** Analiz teplovogo sostoyaniya tve`la VOTK-NOU reaktora IVG.1M pri otsloenii toplivnogo serdechnika ot obolochki [Analysis of thermal state of a WCTC-LEU fuel element of the IVG.1M reactor when fuel kernel separating from the cladding] // NNC RK Bulletin. – 2022. – № 3 – P. 21-25. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-21-25>.
- 3 **Xazhidinov, A. S., Ganovichev, D. A., Akaev, A. S., Marty`nenko, E. A., Xazhidinova, A. R.** Validaciya teplofizicheskoj modeli VOTK-NOU reaktora IVG.1M [Validation of the thermophysical model WCTC-LEU of the IVG.1M reactor] // Vestnik NYaCz RK. – 2018. – № 3. – P. 45-49. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-3-45-49>
- 4 **Xazhidinov, A. S., Akaev, A. S., Ganovichev D. A.** Raschet temperaturnogo polya VOTK-NOU reaktora IVG.1M po optimizirovannoj i usovershenstvovannoj modelyam [Calculation of the temperature field of the WCTC-LEU reactor IVG.1M using optimized and improved models] // Vestnik NYaCz RK. – 2019. – № 3 – P. 76-80. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2019-3-76-80>
- 5 ANSYS release 2021 R2. Documentation for ANSYS WORKBENCH // ANSYS Inc. – 2021.
- 6 **Bruyaka, A., Fokin, V. G., Soldusova, E. A., Glazunova, N. A., Adeyanov, I. E.** Inzhenerny`j analiz v ANSYS Workbench [Engineering analysis in ANSYS Workbench]: Ucheb.posob. Samara: Samar.gos.texn.un-t. – 2010. – 217 p.
- 7 **Sabitova, R. R., Prozorova, I. V., Irkimbekov, R. A., Popov, Yu. A., Bedenko, S. V., Prozorov, A. A., Mukhamediyev, A. K.** Methods to study power density distribution in the IVG.1M research reactor after Conversion // Applied Radiation and Isotopes. – 2022. – Volume 185. – 110259. [Electronic resource] – <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110259>
- 8 **Rivkin, S.L., Aleksandrov, A.A.** Termodinamicheskie svoystva vody` i vodyanogo para [Thermodynamic properties of water and steam]: spravochnik. – M: E`nergoatomizdat, 1984. – 84 p.
- 9 **Belyaev, L. A., Vorob`ev, A. V., Gavrilov, P. M., Gvozdyakov, D. V., Gubin, V. E.** Topливо i materialy` yadernoj texniki [Nuclear fuel and materials] : Uchebnoe posobie. — Tomsk, TPU, 2010. — 275 p.

10 Thermophysical Properties of Materials For Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data // INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. – Vienna. – 2008. 2000 p.

Принято к изданию 18.09.23.

*Е. А. Мартыненко¹, Н. К. Ердыбаева², А. С. Акаев³,
М. К. Бекмулдин⁴, А. А. Туркач⁵
^{1,2,5}Д. Серікбаев атындағы «Шығыс Қазақстан техниклық университеті
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;
^{1,3,4,5}ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты филиалы, Қазақстан
Республикасы, Курчатов қ.
Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ИВГ.1М РЕАКТОРЫНЫҢ ЖБЖ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ ТАРАЛУЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

Осы мақалада реактор қуатының әртүрлі деңгейлерінде ИВГ.1М реакторының ЖБЖ биіктігі бойынша су мен твэл температурасының таралуын компьютерлік модельдеу нәтижелері келтірілген. ИВГ.1М реакторының жылу техникалық параметрлерін тіркеу жүйесі белсенді аймақтағы температураның таралуын анықтауға мүмкіндік бермейді, сондықтан осы мақсатта заманауи бағдарламалық жасақтама кешендері қолданылады. Мақалада реактор құрылғысының қысқаша сипаттамасы, белсенді аймақ пен ТВС жиынтығы берілген. Есептеу әдістемесі толық сипатталған, есептеу моделі ұсынылған, сонымен қатар модельдеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу жүргізу үшін соңғы элементтер әдісін жүзеге асыратын ANSYS Fluent бағдарламасы қолданылды. Зерттеу барысында есептік деректерді эксперименттік мәліметтермен салыстыру жүргізілді, бұл есептеу нәтижелерінің дұрыстығын растайды. Бұл зерттеулер белсенді аймақтың жұмысының жылу физикалық жағдайларын анықтау үшін, сондай-ақ стационарлық қуаттың әртүрлі деңгейлерінде реактордың қауіпсіз жұмысын негіздеу кезінде ЖБЖ-дағы жылу беру мен гидравликалық процестерді талдау үшін пайдаланылуы мүмкін есептік модельді әзірлеу және тексеру үшін жүргізілді. Есептеу моделі жаңа белсенді аймағы бар реактордың жылу-физикалық сипаттамаларын анықтауда құралдардың бірі ретінде пайдаланылды.

Кілтті сөздер: ИВГ.1М ЗР, твэл, температура өрісі, компьютерлік модельдеу, ЖБЖ, термофизикалық есептеу.

*Ye. A. Martynenko¹, N. K. Yerdybayeva², A. S. Akayev³,
M. K. Bekmuldin⁴, A. A. Turkach⁵
^{1,2,5}EKTU named after D. Serikbayev, Republic of Kazakhstan,
Ust-Kamenogorsk
^{1,3,4,5}Institute of Atomic Energy Branch NNC RK,
The Republic of Kazakhstan, Kurchatov
Accepted for publication on 18.09.23

COMPUTER SIMULATION OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE FA OF THE IVG.1M REACTOR

The paper presents the results of computer simulation of the distribution of water and fuel temperature over the height of the FAs of the IVG.1M reactor at various power levels. The system for recording thermal parameters of the IVG.1M reactor does not allow determining the temperature distribution in the core; therefore, modern software systems are used for this purpose. The paper provides a brief description of the reactor design, configuration of the core FAs. The method of calculation is described in detail, the calculation model and the simulation results are presented. To conduct the study, the ANSYS Fluent program was used, which implements the finite element method. During the study, the calculated data were compared with the experimental ones, which confirms the reliability of the calculation results. These studies were implemented to develop and verify a computational model that can be used to determine the thermophysical conditions of the core operation, as well as to analyze heat transfer and hydraulic processes in FAs when justifying the safe operation of the reactor at various levels of stationary power. The calculation model was used as one of the tools in determining the thermophysical characteristics of the reactor with a new core.

Keywords: IVG.1M RR, fuel rod, temperature field, computer simulation, FA, thermophysical calculation.

<https://doi.org/10.48081/JZZW5890>

***Б. Е. Машрапов¹, А. С. Барукин², А. Ж. Динмуханбетова³,
Р. М. Машрапова⁴, Д. Ә. Әмірбек⁵**

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

e-mail: alexbarukin@mail.ru

ЭЛЕКТР БЕРІЛІС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ РЕЛЕЛІК ҚОРҒАНЫСЫ ҮШІН ГЕРКОНДАРМЕН ОРЫНДАЛҒАН ӨЛШЕУІШ ОРГАНДАР

Релелік қорғанысы құрылғыларының өлшеуіш органдар ретінде ток трансформаторларын пайдаланбай, геркондарды қолдану, оларды құрудың өзекті мәселесін шешуге мүмкіндік беретіні, атап өтілді. Осы уақытқа дейін белгілі болған геркондармен орындалған өлшеуіш органдар электр беріліс желілерін релелік қорғанысы үшін пайдаланған кезде келесі кемшіліктерге тән екендігі анықталды: төмен сезгіштігі, өйткені желінің сымдары жел жүктемелерінің әсерінен тербелістеу мүмкін (яғни кеңістіктегі орнын өзгертеді), ал геркондар бастапқы қалпыда қалады; аталған жүктемелердің әсерінен өлшеуіш органның өзі сынуы мүмкін, бұл сенімділіктің жеткіліксіздігін сипаттайды; қос тізбекті электр беріліс желілері үшін қолдану мүмкін емес. Электр беріліс желілерін релелік қорғаныс үшін геркондармен орындалған екі жаңа өлшеуіш орган ұсынылған, оларда көрсетілген кемшіліктер жоқ: біріншісі – кернеуі 500 кВ желіні қорғау үшін, екіншісі – параллель желілерді қорғау үшін. Олардың құралымдары мен жұмысының толық сипаттамасы берілген. Өлшеуіш органдардың жаңалығы, төрт тікбұрышты брустар мен екі пластинаны, екі Т-тәрізді брустар және II-тәрізді пластиналар, біреуі трапеция тәрізді пластинасы, бірінші жағдайда алты бұрандалы тартымы және екіншісінде – екі бекіткіш жолақты, арқансымды, екі талрепті, екі дискіні және екі тесіп өткен ойық бар қақпақты, пайдалану болып табылады.

Кілтті сөздер: қорғаныс, өлшеуіш орган, геркон, электр беріліс желісі, құралым, бекіту.

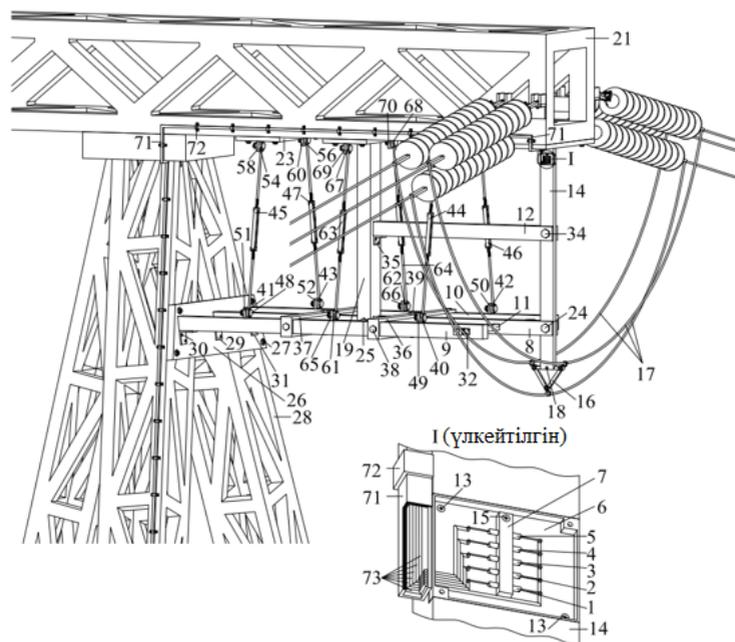
Кіріспе

Дәстүр бойынша электр қондырғыларын қысқа тұйықталудан қорғанысы, соның ішінде соңғы онжылдықтардағы әзірлемелер [1-5], ток туралы ақпаратты металсыйымдылықты және көлемді ток трансформаторларынан алады. Белгілі [6, 7] бойынша, қазіргі уақытта осы ток түрлендіргіштерін пайдаланбай осындай қорғаныстарды құру міндеті өзекті болып табылады. Көп жағдайда, басылымдардың талдауы көрсеткендей, оны шешу үшін Роговский катушкасын [7-9] немесе геркондар [10-13] ток датчиктері ретінде пайдалану ұсынылады. Біз геркондар таңдадық, өйткені олардың релелік қорғаныс үшін маңызды артықшылықтары бар [12]. Олардың негізінде құрудың әртүрлі принциптері [11-15] және қорғаныс құрылғылары әзірленді. Бұл жұмыста, авторлармен әзірлеген және патенттеген [16, 17] электр беріліс желілерін релелік қорғанысы үшін геркондармен орындалған екі өлшеуіш органдар қарастырылады.

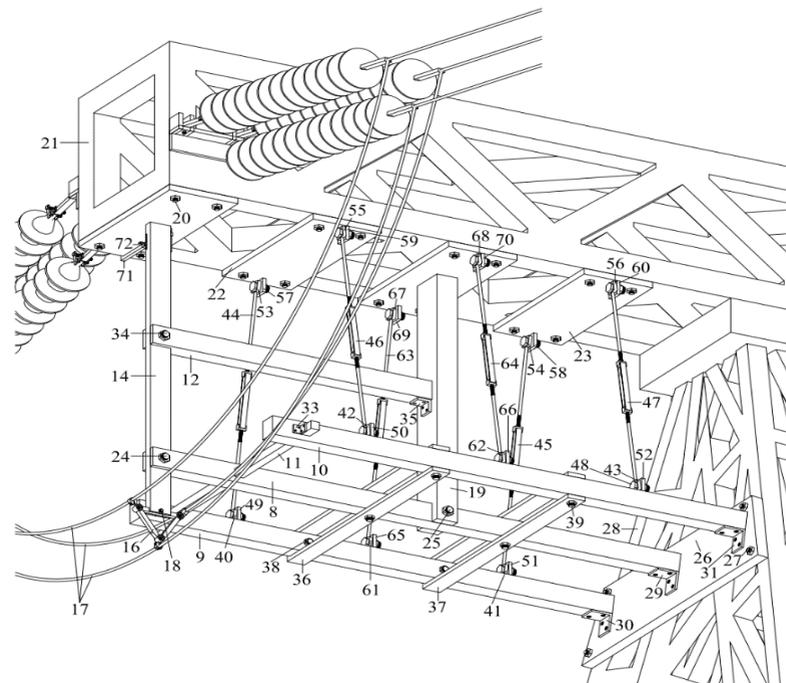
Материалдар мен зерттеу әдістемелері

Кернеуі 500 кВ электр беріліс желінің геркондармен орындалған релелік қорғаныс үшін (1-сурет) өлшеуіш орган герконнан 1–5, қақпағы бар корпустан 6, тікбұрышты брустардан 7–12 тұрады [16]. Корпус 6 екі бұранданың 13 көмегімен бірінші Т-тәрізді брусының 14 ұзартылған бөлігінің басында ойықта бекітілген. Корпусының 6 ішінде бұранданың 15 көмегімен оның түбіне брус 7 бекітілген. Бұл брустың бүйірінде бір-бірінен бірдей қашықтықта бес тесік жасалады, олардың ішінде геркондар 1–5 бір-біріне параллель бекітілген. Т-тәрізді брустың 14 ұзартылған бөлігінің соңындағы ойықтың түбі үш сымның 17 бір фазалы электр беріліс желінің қашықтық тірегіштерінің 16 біріне тіреледі, ол ойықтың бүйір беттеріндегі және плашкадағы мен гайкамен бекітілген соосты тесіктер арқылы өтетін болттың 18 көмегімен брусқа 14 қосылған. Т-тәрізді брустардың 14, 19 қысқартылған бөліктері әрқайсысы гайкалары бар төрт қыстырғыштар 20 көмегімен электр беріліс желінің траверстерінің 21 төменгі жағына бекітіледі, оған Т-тәрізді брустан 19 бірдей қашықтықта тікбұрышты пластиналар 22, 23 бекітіледі. Брустың 8 түзу ұшының соңындағы ойықтың түбі брустың 14 бүйір бетіне тіреледі, ал ондағы және ойықтың бүйір беттеріндегі соосты тесіктерге гайкамен бекітілген болт 24 салынған. Брустың 19 ұзартылған бөлігінің соңындағы ойықтың түбі оның ұзындығының ортасында брустың 8 бүйір бетіне тіреледі, ал ондағы соосты тесіктерге және аталған ойықтың бүйір беттеріне гайкамен бекітілген болт 25 салынған. Трапеция түріндегі пластина 26 гайкалары бар төрт қыстырғыштар 27 көмегімен электр беріліс желінің тірегі тіреуінің 28 бүйір беттеріне бекітіледі және үш ұядан тұрады, қайсысына, сәйкесінше бұрыштықтар 29-31 және осы пластинаға бекітілген бұрандалардың көмегімен брустардың 8-10 қиғаш тікте қойылған ұштарында

орналасқан, тікенелер салынған. Брус 11, брустарда 8-10 жасалған соосты тесіктерден өтеді, және бұрыштықтар 32, 33 көмегімен соңғы екі брустарға бұрандалармен бекітіледі. Брустың 12 бірінші тік қойылған ұшының соңындағы ойықтың түбі брустың 14 бүйір бетіне тіреледі, ал ондағы соосты тесіктерге және ойықтың бүйір беттеріндегі гайкамен бекітілген болт 34 салынған. Брустың 12 екінші тік қойылған ұшының соңында орналасқан тікене брустың 19 ұясына салынған, ал брустары өзі бұрыштығы 35 пен бұрандалардың көмегімен бір-біріне бекітілген.



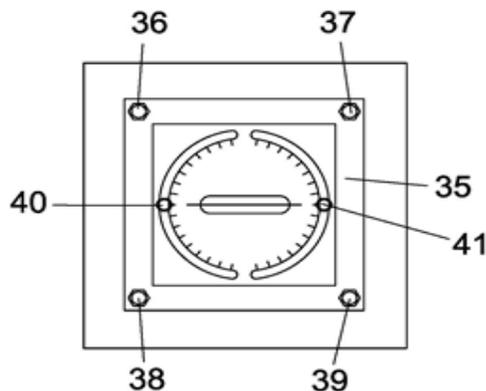
а)



б)

Сурет 1 – Кернеуі 500 кВ электр беріліс желінің геркондармен орындалған релелік қорғаныс үшін өлшеуіш орган

П-тәрізді пластиналар 36, 37 брустан 19 бірдей қашықтықта орналастырылған және брусқа 9 болттардың 38 көмегімен бекітілген, ондағы соосты тесіктер арқылы және әр пластинаның қысқартылған бөлігінде өтетін және гайкалармен бекітілген, ал брустарға 8, 10 – болттардың 39 көмегімен, ондағы соосты тесіктерден және пластиналардың әрқайсысының ұзартылған екі бөлігінде өтетін және гайкалармен бекітілген. Бұрандалы тартымалардың 44 пен 45 (46 мен 47) проушиндары 40 пен 41 (42 мен 43) гайкалы болттардың 48 көмегімен шығыңқы жерлерге 49 (50) және 51 (52) брустың 9 (10) тесіктерімен бекітілген, ал проушиндар 53 пен 54 (55 пен 56) – дәл сол сияқты пластиналарында 22 мен 23 тесіктерімен шығыңқы жерлерге 57 мен 58 (59 бен 60). Бұрандалы тартымалардың 63 пен 64 проушиндары 61 мен 62 гайкалы болттардың 48 көмегімен шығыңқы жерлерге 65 пен 66 брустың 9 пен 10 тесіктерімен бекітілген, ал проушиндар 67 мен 68 – дәл сол сияқты брустың 19 қысқартылған бөлігінде тесіктерімен шығыңқы



Сурет 4 – Геркондармен орындалған қақпағы жоқ корпустың құралымы (жоғарыдан көрініс)

Нәтижелер мен талқылаулар.

Бірінші өлшеуіш орган келесідей жұмыс істейді. Қорғаныстың іске қосылу тогы мен герконның 1-5 іске қосылу тогы анықталады. Герконның 1-5 әрқайсысының іске қосылу тогы деп электр беріліс желінің қысқа тұйықталу кезінде фазасының сымдарында 17 өтетін ток шамасының мәні түсініледі, онда геркон түйіспелерін тұйықтап, логикалық қорғаныс блогына кіретін сигнал береді. Барлық геркондар 1-5 сымдардан 17 әр түрлі қашықтықта h орналасуына байланысты бір-бірінен ерекшеленетін іске қосылу тогы бар (бекітілген қадаммен). Әрі қарай, геркондар 1-5 іске қосылу токтарының алынған мәндерінің ішінен қорғаныс іске қосылу тогына ең жақыны таңдалады, яғни герконды таңдайды, оның іске қосылуы желіде қысқа тұйықталудың болуы туралы бағаланады. Жүктеме режимінде сымдарында 17 ағып жатқан ток, таңдалған герконды іске қосылу үшін, жеткіліксіз. Қысқа тұйықталу кезінде геркон іске қосылады (өз түйіспелердің тұйықтайды) және қосылыс сымдар 73 арқылы сигналды логикалық қорғаныс блогына жібереді, қайсысы электр беріліс желінің ажыратқыштарының ажырату тізбегіне сигнал береді.

Екінші өлшеуіш органда бірінші бекіту жолағында 1 шкала бойынша кернеудің тиісті класы үшін электр қауіпсіздігіне тең қашықтық есептеледі. Бірінші 1 және екінші бекіткіш жолақтарды топсалы қосылыммен 10 бекіттеді. Үшінші бекіткіш жолақ 13 бір ұшымен қамыт 15 арқылы оқшаулаушы 16 гирляндаға, ал екінші ұшымен болтпен 11 екінші бекіткіш жолаққа 9 бекітіледі. Бұл жағдайда екінші бекіту жолағы 9 бірінші бекіту жолағына 1 перпендикуляр орналасуы керек. Желінің фазасына жақын

нүктені анықтайды. Одан траверске 4 дейінгі қашықтықты және бірінші бекіту жолағына 1 перпендикуляр екінші бекіту жолағының 9 бекіту нүктесі арқылы өтетін түзуге дейінгі қашықтықты өлшейді. Екінші 9 және төртінші 14 бекіткіш жолақтардағы шкалалар бойынша өлшенген қашықтықтарға сәйкес келетін тесіктер белгіленеді. Белгіленген тесіктерден болтты өткізіп, екінші 9 және төртінші 14 бекіткіш жолақтарды қосады. Бірінші 1 және төртінші 14 бекіткіш жолақтар арқанымының 5, 17 мен 18 және 6, 7, 19, 20, 21 мен 22 талрептердің көмегімен бекітіледі. Геркондардың 33 пен 34 бойлық осьтері фазалық сымның осіне қатысты болатының, бұрышты анықтайды. Болттарды 40 пен 41 тұтқалар ретінде қолдана отырып, корпусының ойықтарына қатты бекітілген дискілерді 25 пен 26 бұрайды. Бұл жағдайда герконның 33 түйіспелі пластинасы қақпағындағы 35 тиісті шкаланың рискасына сәйкес келгенше бұрылады. Содан кейін дискілердің 25 пен 26 орнын болттарды 40 пен 41 дискідегі 25 тесіктерге бұрап бекітеді. Өлшеуіш орган жұмысқа дайын. Дәл осы операциялар қос тізбекті желінің қалған фазаларына жақын орналасқан өлшеуіш органдар үшін қайталанады.

Қорытынды

Геркондармен орындалған қарастырылған өлшеуіш органдар, ток трансформаторларын пайдаланбай мыс пен болатты үнемдей, электр беріліс желілерін қысқа тұйықталуынан (соның ішінде қос тізбекті) қорғаныс құруға мүмкіндік береді. Белгілі өлшеуіш органдармен салыстырғанда, практикалық құндылық, құралымның жоғары механикалық сенімділігінде болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Traversal protection of two parallel lines without voltage path // *Przeglad Elektrotechniczny*, 2016. – vol. 92, № 2. – P. 168–170.

2 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Differential protection of three and four parallel lines of idling current control // *Przeglad Elektrotechniczny*, 2017. – vol. 93, № 10. – P. 109–112.

3 **Kletsel', M. Y., Nikitin, K. I.** Analysis of the sensitivity of back-up protections for distribution networks in power systems // *Elektrichestvo*, 1992. – № 2. – P. 19–23.

4 **Bogdan, A. V., Kletsel', M. Y., Nikitin, K. I.** Adaptive back-up overcurrent protection for tapped lines with single-end fud // *Elektrichestvo*, 1991. – № 2. – P. 51–54.

5 **Kletsel' M.Y., Nikitin, K.I.** Back-up line protection that responding to the difference in magnitudes of the phase currents and their increment // *Elektrichestvo*, 1993. – № 10. – P. 23–26.

6 **Дьяков, А. Ф., Ишкин, В. Х., Мамиконянц, Л. Г., Семенов, В. А.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – М. : ЗАО Научно-техническая фирма «Энергопрогресс», 2004. – Вып. 4–5. – 176 с.

7 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

8 **He, P., Wang, L., Liu, D., Du, Y., Lu, H.** Transformer composite monitoring module with quick protection function // China Patent № 202372563-U, 2012.

9 **Weiss, R., Itzke, A., Reitenspieß, J., Hoffmann, I., Weigel, R.** A Novel Closed Loop Current Sensor Based on a Circular Array of Magnetic Field Sensors // IEEE Sensors Journal, 2019. – vol. 19, № 7. – P. 2517–2524.

10 **Kletsel, M., Kabdualiyev, N., Mashrapov, B., Neftissov, A.** Protection of busbar based on reed switches // Przegląd Elektrotechniczny, 2014. – vol. 90, № 1. – P. 88–89.

11 **Kletsel, M.Ya.** Design principles and models of reed relay base energy facility differential protections // Elektrotehnika, 1991. – № 10. – P. 47–50.

12 **Kletsel, M. Ya., Musin, V. V., Alishev, Zh. R., Manukovskij, A.V.** The properties of hermetically sealed reed relays used in relay protection // Elektrichestvo, 1993. – № 9. – P. 18–21.

13 **Kletsel, M., Mashrapova, R., Mashrapov, B.** Methods for the Construction of Protection with Magnetosensitive Elements for the Parallel Circuits with Single end Supply // Proc. of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020. – P. 1–6.

14 **Zhantlesova, A. B., Kletsel, M. Y., Maishev, P. N., Neftisov, A. V.** Characterizing a sustained short-circuit current with the use of reed relays // Russian Electrical Engineering, 2014. – vol. 85, № 4. – P. 210–216.

15 **Kletsel, M., Borodenko, V., Barukin, A., Kaltayev, A., Mashrapova, R.** Constructive features of resource-saving reed relay protection and measurement devices // Rev Roumaine des Sciences Techniques-Series Electrotechnique et Energetique, 2019. – vol. 64, № 4. – P. 309–315.

16 **Барукин, А. С., Богдан, А. В., Клещель, М. Я., Амирбек, Д. А.** Измерительный орган для релейной защиты на герконах линии электропередачи напряжением 500 кВ // Пат. 2768976 Российской Федерации МПК H02H 3/08; опубл. 28.03.2022.

17 **Машрапов, Б. Е., Машрапова, Р. М., Нигматуллин, Р. Р., Сарыбай, А. М.** Измерительный орган для защиты параллельных линий электропередачи от коротких замыканий // Пат. 35546 Республики Казахстан МПК H02H 3/08; опубл. 15.04.2022.

REFERENCES

1 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Traversal protection of two parallel lines without voltage path // Przegląd Elektrotechniczny, 2016. – vol. 92, № 2. – P. 168–170.

2 **Kletsel, M., Mashrapov, B.** Differential protection of three and four parallel lines of idling current control // Przegląd Elektrotechniczny, 2017. – vol. 93, № 10. – P. 109–112.

3 **Kletsel', M. Y., Nikitin, K. I.** Analysis of the sensitivity of back-up protections for distribution networks in power systems // Elektrichestvo, 1992. – № 2. – P. 19–23.

4 **Bogdan, A. V., Kletsel', M. Y., Nikitin, K. I.** Adaptive back-up overcurrent protection for tapped lines with single-end fud // Elektrichestvo, 1991. – № 2. – P. 51–54.

5 **Kletsel' M. Y., Nikitin, K. I.** Back-up line protection that responding to the difference in magnitudes of the phase currents and their increment // Elektrichestvo, 1993. – № 10. – P. 23–26.

6 **Diakov, A.F, Ishkin, V. Kh, Mamikonians, L.G, Semenov V.A.** Elektroenergetika mira v nachale XXI stoletia (po mater 39-i sessii SIGRE Parizh) [Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century (based on the materials of the 39th session of CIGRE, Paris)] // Energy Abroad. – М. : CJSC Scientific and technical firm «Energoprogress», 2004. – Issue 4–5. – 176 p.

7 **Kojović, L. A.** Non-conventional instrument transformers for improved substation design // CIGRE Session 46, 2016.

8 **He, P., Wang, L., Liu, D., Du, Y., Lu, H.** Transformer composite monitoring module with quick protection function // China Patent № 202372563-U, 2012.

9 **Weiss, R., Itzke, A., Reitenspieß, J., Hoffmann, I., Weigel, R.** A Novel Closed Loop Current Sensor Based on a Circular Array of Magnetic Field Sensors // IEEE Sensors Journal, 2019. – vol. 19, № 7. – P. 2517–2524.

10 **Kletsel, M., Kabdualiyev, N., Mashrapov, B., Neftissov, A.** Protection of busbar based on reed switches // Przegląd Elektrotechniczny, 2014. – vol. 90, № 1. – P. 88–89.

11 **Kletsel, M. Ya.** Design principles and models of reed relay base energy facility differential protections // Elektrotehnika, 1991. – № 10. – P. 47–50.

12 **Kletsel, M. Ya., Musin, V. V., Alishev, Zh. R., Manukovskij, A.V.** The properties of hermetically sealed reed relays used in relay protection // Elektrichestvo, 1993. – № 9. – P. 18–21.

13 **Kletsel, M., Mashrapova, R., Mashrapov, B.** Methods for the Construction of Protection with Magnetosensitive Elements for the Parallel Circuits

with Single end Supply // Proc. of 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020. – P. 1–6.

14 **Zhantlesova, A. B., Kletsel, M. Y., Maishev, P. N., Neftisov, A. V.** Characterizing a sustained short-circuit current with the use of reed relays // Russian Electrical Engineering, 2014. – vol. 85, № 4. – P. 210–216.

15 **Kletsel, M., Borodenko, V., Barukin, A., Kaltayev, A., Mashrapova, R.** Constructive features of resource-saving reed relay protection and measurement devices // Rev Roumaine des Sciences Techniques-Series Electrotechnique et Energetique, 2019. – vol. 64, № 4. – P. 309–315.

16 **Barukin, A. S., Bogdan, A. V., Kletsel, M. Ya., Amirbek, D. A.** Izmeritel'nyj organ dlya relejnoj zashchity na gerkonah linii elektroperedachi napryazheniem 500 kV [Measuring body for relay protection on reed switches of a 500 kV power line] // Pat. 2768976 of the Russian Federation IPC H02H 3/08; publ. 03/28/2022.

17 **Mashrapov, B. E., Mashrapova, R. M., Nigmatullin, R. R., Sarybay, A. M.** Izmeritel'nyj organ dlya zashchity parallel'nyh linii elektroperedachi ot korotkih замыканij [Measuring element for protecting parallel power lines from short circuits] // Pat. 35546 of the Republic of Kazakhstan IPC H02H 3/08; publ. 04/15/2022.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

**Б. Е. Маурапов¹, А. С. Барукин², А. Ж. Динмуханбетова³, Р. М. Маурапова⁴, Д. Ә. Әмірбек⁵*

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар
Принято к изданию 18.09.23.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ НА ГЕРКОНАХ ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Отмечается, что применение герконов в качестве измерительных органов устройств релейной защиты позволяет решить актуальную задачу их построения без использования трансформаторов тока. Установлено, что известным к настоящему моменту измерительным органам на герконах при их использовании для релейной защиты линий электропередач присущи следующие недостатки: малая чувствительность, так как провода линии могут колебаться (т.е. изменять свое положение в пространстве) под воздействием ветровых нагрузок, в то время как герконы остаются в своем первоначальном положении; под воздействием упомянутых нагрузок может сломаться сам измерительный орган, что характеризует недостаточную надежность; невозможность применения для двухцепных линий электропередачи. Предложены два новых измерительных органа

на герконах для релейной защиты линий электропередач, лишённые указанных недостатков: первый – для защиты линии напряжением 500 кВ, второй – для защиты параллельных линий. Дано подробное описание их конструкций и работы. Новизна измерительных органов заключается в использовании четырех прямоугольных брусов и двух пластин, двух Т-образных брусов и П-образных пластин, одной трапецевидной пластины, шести резьбовых тяг в первом случае, и двух крепежных планок, троса, двух талрепов, двух дисков и крышки с двумя сквозными пазами – во втором.

Ключевые слова: защита, измерительный орган, геркон, линия электропередачи, конструкция, крепление.

**B. E. Mashrapov¹, A. S. Barukin², A. Zh. Dinmukhanbetova³, R. M. Mashrapova⁴, D. A. Amirbek⁵*

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar
Accepted for publication on 18.09.23

MEASURING BODIES ON REED SWITCHES FOR RELAY PROTECTION OF POWER LINES

It is noted that the use of reed switches as measuring bodies of relay protection devices makes it possible to solve the urgent problem of their construction without the use of current transformers. It has been established that the currently known measuring bodies on reed switches when used for relay protection of power lines have the following disadvantages: low sensitivity, since the line wires can oscillate (i.e. change their position in space) under the influence of wind loads, while while the reed switches remain in their original position; under the influence of the mentioned loads, the measuring body itself may break, which characterizes insufficient reliability; impossibility of application for double-circuit power lines. Two new measuring bodies on reed switches are proposed for relay protection of power lines, devoid of these disadvantages: the first - for protecting a 500 kV line, the second - for protecting parallel lines. A detailed description of their designs and operation is given. The novelty of the measuring bodies lies in the use of four rectangular bars and two plates, two T-shaped bars and U-shaped plates, one trapezoidal plate, six threaded rods in the first case, and two fastening bars, a cable, two turnbuckles, two disks and a cover with two through grooves - in the second.

Keywords: protection, measuring body, reed switch, power line, design, fastening.

<https://doi.org/10.48081/HQCJ8598>

***О. Д. Меурбекова¹, Н. Т. Рустамов², А. Н. Бергузинов³, А. Г. Калтаев⁴**

^{1,2}Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Қазақстан Республикасы, Түркістан қ.,

^{3,4}Торайғыров университеті, Павлодар қ, Қазақстан Республикасы

e-mail: oksana_120183@mail.ru

ГАЗ ТУРБИНАЛЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ НЕГІЗІНДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ТАРАТЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

Бұл мақалада мал шаруашылығы және ауыл шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогаз отынмен пайдаланылатын газтурбиналық қозғалтқышта жұмыс істейтін гибриді таратылған генерация жүйесін құруға байланысты мәселе қаралды. Ұсынылған гибриді ТГ көмегімен практикалық нәтиже беретін келесі мәселелерді, яғни өзіндік құны төмен жылу және электр энергиясын алу үшін биоқалдықтарды пайдалану мүмкіндігі және ТГ гибриді жүйесінде жұмыс істейтін ГТҚ үшін отын ретінде био қалдықтардан алынған биогазды пайдалану мүмкіндігі дәлелденді. Гибриді таратылған генерация жүйесі газ турбиналық қозғалтқыш (ГТҚ) негізінде салынған кезде, нәтижесінде жылу мен электр энергиясын ғана емес, сонымен қатар жылыжай шаруашылықтарында өте қажет өнімді, яғни гумусты алуға болатындығы атап өтілді. Жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) негізінде жұмыс істейтін гибриді энергетикалық жүйелерді басқарудағы қиындықтарға байланысты мәселелер, сонымен қатар, осы жүйелерді пайдалану кезіндегі кемшіліктері қарастырылды. Осы жүйелердің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере келе, гибриді энергетикалық жүйелерді құру үшін газ турбиналық қозғалтқыштарды (ГТҚ) пайдалану тиімді екендігі ұсынылды және қондырғының схемасы, оның жұмыс принципі келтірілді. Гибриді таратылған энергия басқарудың математикалық моделі келтірілген. Қажетті есептеу параметрлері MATLAB Simulink-те жасалған бағдарламаның көмегімен анықталды.

Кілтті сөздер: Биогаз, газ турбиналық қозғалтқыш, аймақтық генерация, математикалық модель, гибриді жүйе, басқару.

Кіріспе

Көптеген елдердің таратылған энергетикаға көшу үрдісі және тұтынушыларды орталықтандырылған энергиямен жабдықтауды азайту таратылған генерация объектілерімен электр энергетикалық жүйелердің жұмысын жандандыру мәселелерін шешуді алға қойып отыр. Интеллектуалды электр энергетикалық жүйелерінің (smart grid), когенерацияның, микротурбиналық электр станцияларының және ЖЭК пайдалану негізінде энергия өндірудің технологияларын белсенді түрде енгізу таратылған электр энергиясын өндіруге көшу үрдісін арттыруда. Бірқатар Еуропа елдерінде, Азия елдерінде, АҚШ-та орталықтандырылған энергиямен жабдықтаудан таратылған энергетиканы дамытуға көшу байқалады. Таратылған энергияны анықтаудың әртүрлі тәсілдері бар, бірақ көбінесе «таратылған генерация» (distributedgeneration) термині тұтыну орнына жақын жерде электр энергиясын өндіретін төмен қуатты (20-30 МВт-қа дейін) генерациялайтын объектілердің жиынтығын білдіреді [1,2]. Екінші жағынан, алыстағы тұтынушылар үшін электр энергиясын ғана емес, жылу энергиясын да қамтамасыз ету қажет. Бұл жағдай электр және жылу энергиясын өндіретін таратылған генерация (ТГ) дамуын талап етеді, яғни когенерация режимінде жұмыс істейтін ТГ жүйесі [3]. Мұндай токтар электр энергетикасы жүйелеріндегі бірқатар міндеттерді шешуге ықпал етеді: яғни, қажет болған жағдайда тұтынушыларға ең жоғары және резервтік энергиямен қамтамасыз ету немесе тұтынушыларға қуат орталықтарынан алыс орталықтандырылмаған энергия өндіруді қамтамасыз ету болып табылады [4].

Бұл жұмыста биогазды отын ретінде пайдаланатын газ турбиналық қозғалтқыш негізінде жұмыс істейтін ТГ жүйесі ұсынылады. Мұндай инновациялық әдіс бірінші рет [5] ұсынылып отыр. Бір қызығы, бұл жағдайда ТГ жүйесінің жұмысының нәтижесі тек электр, жылу энергиясын өндіру ғана емес, сонымен қатар жылыжай шаруашылығы үшін өнімді топырақ (гумус) өндіру болады [6]. Осылайша, ұсынылған ТГ жүйесін ТГ гибриді жүйесі деп атауға болады.

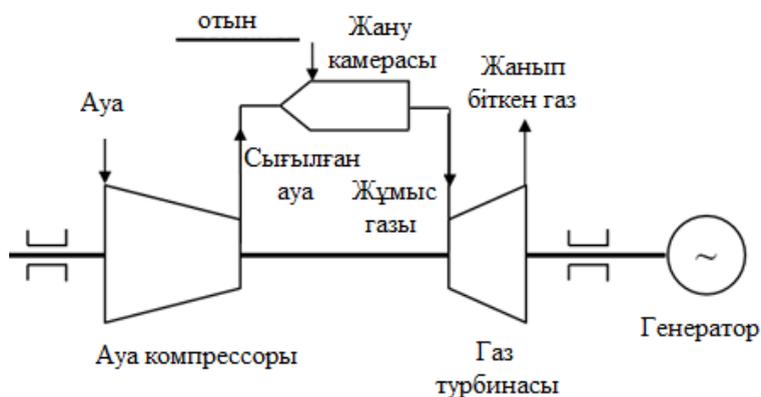
Материалдар мен әдістер.

Өнеркәсіптік дамыған және әртүрлі климаты бар дамушы аудандарда өз орнын табатын шағын энергетика технологиясын әзірлеу сұранысқа ие.

Газ турбиналық қозғалтқышта (ГТҚ) газ қызады және сығылады, содан кейін қыздырылған және сығылған газдың энергиясы газ турбинасының білігіндегі механикалық жұмысқа айналады. Сонымен бірге энергияның 50 % атмосфераға пайдаланылған газ түрінде түседі. Газ турбиналық

қозғалтқыштың поршенді қозғалтқыштан айырмашылығы ГТҚ-да процестер қозғалатын газ ағынында жүреді (сурет 1).

ТГ гибриді жүйесі үшін электр энергиясын ғана емес, жылу энергиясын да өндіру үшін ГТҚ -ты тиімді түрде пайдалануға болады. Егер биогаз отын ретінде пайдаланылса, онда екінші реттік қалдық материалмен жылыжай шаруашылығында өте сұранысқа ие өнімді топырақты, яғни гумусты алуға болады. Егер пайдаланылған газ жолында ГТҚ болса (сурет 2) жылу батареясын қойып, шығарылатын жылу энергиясының 50 %-ын пайдалы жылу ретінде алуға болады. ГТҚ - тың осы қасиетін пайдалана отырып, ТГ-ның тиімді жұмыс істейтін гибриді жүйесін құруға болады[8].



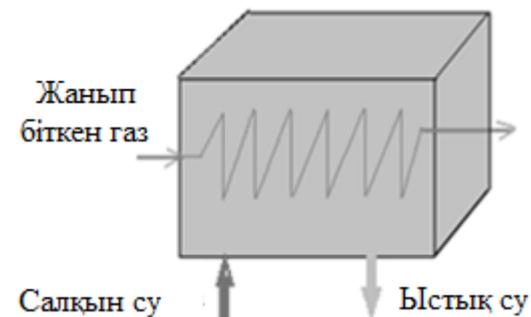
Сурет 1 – Қарапайым газ турбиналы қозғалтқыштың схемасы

Таза атмосфералық ауа оның қысымын арттыратын компрессор арқылы өтеді. Содан кейін биогаз ауаға бүрку және оны тұтату арқылы қосылады, осылайша жану кезінде жоғары температура ағыны пайда болады. Бұл жоғары қысымды жоғары температуралы газ турбинаға түседі, онда ол шығатын қысымға дейін ұлғайып, біліктің жұмыс қуатын тудырады және пайдаланылған газ ауаға шығарылады.



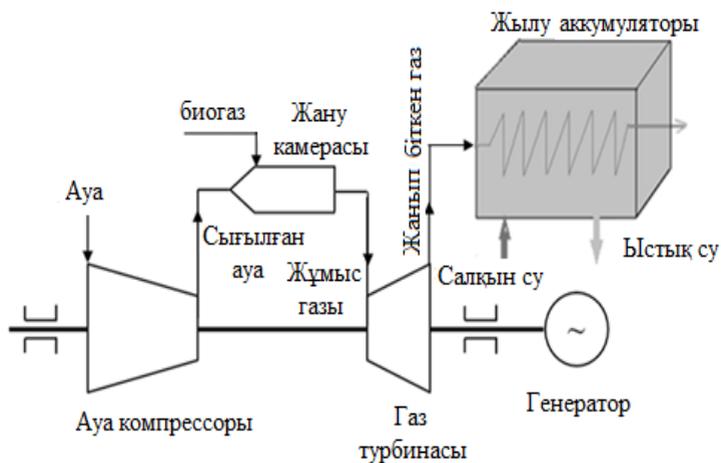
Сурет 2 – ГТҚ жұмыс сәті

Сонымен қатар, пайдалы жұмыс үшін пайдаланылмайтын энергия пайдаланылған газдармен шығарылады, сондықтан олар жоғары температура мен жоғары жылдамдыққа ие. Сондықтан бізді ең қажеттісі нәрсе-пайдаланылған газдың шығу температурасы. Қолданыстағы ГТҚ дизайнынан шығатын газдың шығыс температурасы негізінен қозғалтқыш компрессорының сығылу коэффициентіне байланысты екенін көруге болады [9]. Егер сіз пайдаланылған газдың шығысында 3-суретте көрсетілген жылу батареясын орнатамыз, содан кейін біз когенеративті режимде жұмыс істейтін гибриді ТГ жүйесін құрамыз (сурет 4).



Сурет 3 – Жылу батареясы

Нәтижесінде 1-суретте көрсетілген ГТҚ 4-суретте көрсетілген ГТҚ-ге айналады. Егер мұндай ГТҚ ТГ жүйесінде пайдаланылса, онда ТГ когенерация режимінде жұмыс істейді.

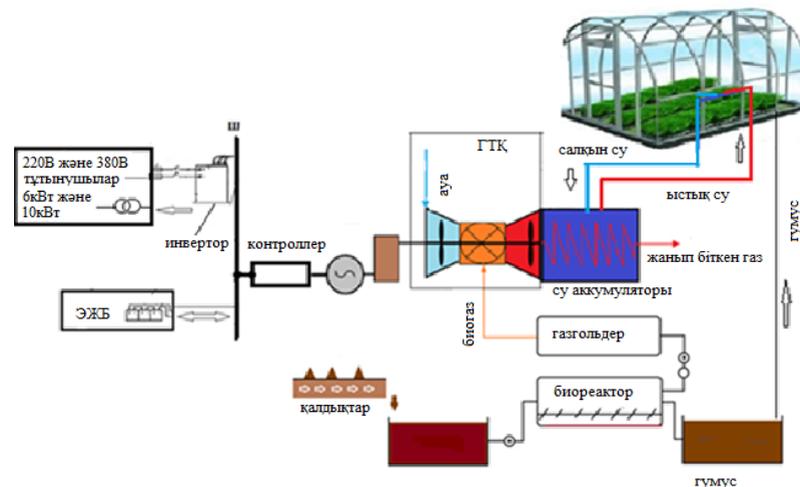


Сурет 4 – Жылу батареясы бар ГТҚ

Егер ГТҚ – да ауыл шаруашылығы және мал шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогаз отын ретінде пайдаланылса, онда өнімді топырақ түріндегі қайталама қалдық материалды-гумусты аламыз[10].

Төменде биогазбен жұмыс істейтін ТГ гибриді жүйесінің құрылымдық схемасын аламыз. 5-суретте ГТҚ пайдаланылған газдардың шығысында жылу аккумуляторы орнатылғанын көруге болады, одан пайдалы жылу атап айтқанда жылыжай үшін жылу энергиясы алынады. ГТҚ білігін редуктор, генератор және контроллер арқылы жалпы тұрақты ток шинасына қосу гибриді ток жүйесін тарату желісіне қосуға мүмкіндік береді.

Біздің жағдайда модельдеу объектісі – жанармай биогаз болып табылатын ГТҚ негізінде жұмыс істейтін гибриді ТГ жүйесі. Модельдің мәні микрогазотурбиналық жүйенің «кіріс-шығыс» сипаттамасын есептеу күрделілігі болып табылады.



Сурет 5 – ТГ гибриді жүйенің блок-схемасы

Жүйелердің жұмыс істеу процестерінің математикалық модельдерін құрудағы бастапқы ақпарат зерттелетін гибриді таратылған генерация (ТГ) жүйесінің мақсаты мен жұмыс жағдайлары туралы мәліметтер болып табылады. Модельдеудің басында біз модельдеудің негізгі мақсатын анықтайтын ақпаратты алатын модельдеу объектісін нақты көрсетуіміз керек екені белгілі. Сонымен қатар, абстракция деңгейі жүйені зерттеуші модель арқылы жауап алғысы келетін сұрақтар шеңберіне байланысты және белгілі бір дәрежеде математикалық схеманы таңдауды анықтайды. ТГ гибриді жүйесінің математикалық моделін алгоритмдеуге айтарлықтай көмектеседі [11]. 5-суреттен ТГ гибриді жүйесі бір-біріне тәуелсіз жұмыс істейтін модульдерден тұратынын көруге болады. Бұл газгольдерін толтырумен байланысты V биогаз өндірісінің модулі ретінде қарастырылады. Екінші модуль электр қуатын P және жылу энергиясын $Q_{теп}(m, \Delta T)$ өндіреді, үшінші модуль пайдалы жылу энергиясын алу үшін қолданылады $Q_m(\Delta T)$. Гибриді таратылған генерация (ТГГ) жүйесін модельдеу кезінде кіріс әсерлері, сыртқы орта әсерлері E және жүйенің ішкі параметрлері тәуелсіз (экзогендік) айналымы болып табылады, олар векторлық формада сәйкесінше

$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ ал жүйенің шығыс сипаттамалары тәуелді (эндогендік) айналымы және векторлық $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$ түрінде болады. ТГГ жүйесінің жұмыс істеу процесін уақыт өте келе K_p операторы сипаттайды, ол жалпы жағдайда экзогендік айналымыларды сипаттың арақатынасы бар эндогендік айналымыларға түрлендіреді.

$$\vec{y}(t) = K_i(\vec{x}(t)) \quad (1)$$

K_i операторы эндогендік айнымалыларды экзогендік айнымалыларға түрлендіру кезінде олардың физикалық қасиеттерін көрсетеді. Біздің жағдайда K_i эксперименттік жолмен немесе осы айнымалылардың қасиеттері анықталған кестелерден бағаланады. K_i коэффициентінің мәнін бағалау зерттелетін объектіні модельдеу кезінде қандай болжам жасалғанына байланысты. Математикалық модельдеудегі болжамдар шешілетін есептің қойылуына және қажетті пайдаланылған нәтижеге байланысты екені түсінікті.

ТГ гибриді жүйесінің құрылымдық схемасынан мұндай дизайнмен бір уақытта іс жүзінде талап етілетін үш қажетті міндеттерді шешуге болатындығын көруге болады. Біріншісі – энергияға қол жетімділігі қиын өңірлерде тұтынушыға қажетті электр және жылу энергиясын өндіру, екіншісі-ТГ гибриді жүйесі қосылатын тарату желілерінің энергетикалық сипаттамаларын теңестіру, үшіншісі-агробъектілерді өнімді топырақпен қамтамасыз ету.

Осы ойлардың негізінде біз ГТГ математикалық моделін жасаймыз.

Жоғарыда айтылғандай, ТГ гибриді жүйесі үш сілтемеден тұрады. Шығыс кезеңі-биогаз $V(Q_M, \vec{y}(t))$ және гумус $\Gamma(\vec{y}(t))$ өндірісінің кезеңі.

Органикалық қалдықтардың кең класына биогаз өндіру процесінің математикалық моделін құрудың теориялық негізін қолдануға болады. Ол биогаздың түзілу жылдамдығын сипаттайды ($V_c, \text{м}^3/\text{кг}$ тәулік) көнді анаэробты өңдеудің технологиялық параметрлеріне байланысты.

$$V_c = \frac{V_{c0} S}{\tau_c} \left(1 - \frac{k_s}{\mu \tau_c - 1 + k_w} \right) \mu \quad (2)$$

мұндағы V_c ($\text{м}^3/\text{кг}$) – көндегі органикалық заттардан биогаздың шекті шығымы; μ ($\text{м}^3/\text{кг}$ тәулік). Біз K_i көңінің түрін сипаттайтын коэффициентті енгіземіз. Бізге көң түрі қажет болғандықтан, кіріс параметрі мал және ауыл шаруашылығы қалдықтары $Q_M(K_i, x)$ осы сілтеменің математикалық моделі болады:

$$\frac{\partial Q_M}{\partial t} = K_i \cdot (V_c(\vec{y}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))) \quad (3)$$

мұндағы $i = 1, 2, 3, \dots$

Екінші буын, бұл электр энергиясын алатын ГТК буыны $P(I, U)$ және пайдаланылған газ, яғни жылу энергиясы $Q_{\text{теп}}$ (мТ). Бұл сілтеменің теңдеуі:

$$\frac{\partial (V_c(\vec{y}(t)))}{\partial t} = K_i \cdot (P(I, U) + Q(m, \Delta T)) \quad (4)$$

Пайдалы жылу энергиясын алудың үшінші буыны из (K_i)

$$\frac{\partial Q_{\text{жылу}}(m, \Delta T)}{\partial t} = K_i \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{шығу. газ})) \quad (5)$$

Осылайша ТГ гибриді жүйесінің жұмысы үш теңдеумен сипатталады:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_M}{\partial t} = K_1 \cdot (V_c \vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t)) \\ \frac{\partial (V_c(\vec{y}(t)))}{\partial t} = K_2 \cdot (P(I, U) + Q_{\text{жылу}}(m, \Delta T)) \\ \frac{\partial Q_{\text{жылу}}(m, \Delta T)}{\partial t} = K_3 \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{шығу. газ})) \end{cases} \quad (6)$$

$\frac{\partial}{\partial t} = k$ белгісін енгізейік.

Сайып келгенде беріліс функциясы

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M(K_i, \vec{x})} \quad (7)$$

мұндағы $Q_m(\Delta T)$ – пайдалы жылу, $Q_{\text{пол}}(\Delta T)$ – жалпы өндірілген жылу

$$\begin{cases} k Q_M = K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))) \\ k V_c(\vec{y}(t)) = K_2 \cdot (P(I, U) + Q_{\text{жылу}}(m, \Delta T)) \\ k Q_{\text{жылу}}(m, \Delta T) = K_3 \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{шығу. газ})) \end{cases} \quad (8)$$

Теңдеулер (8) РГ гибриді жүйесінің математикалық моделі болады. Бұл жағдайда $Q_m = Q_{\text{жылу}}(m\Delta T)$ шығу газ өз кезегінде $Q_{\text{жылу}}(m\Delta T) = Q_m(\Delta T)$ выхлоп газ. Содан кейін $Q_m(\Delta T)$ пайдалы жылу энергиясы болып табылады. Сілтемелердің қасиеттерін сипаттайтын коэффициенттерді енгізейік, K_1 коэффициенттері-қалдықтардың құрамына байланысты, K_2 -газ турбиналы қозғалтқыштың тиімділігіне байланысты, K_3 -ауа компрессорының сығылу дәрежесіне байланысты. (8) – ден біз W беріліс функциясын ТГ үшін табамыз:

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M} \quad (9)$$

гибриді ТГ жүйесінің беріліс функциясы келесідей:

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M} = \frac{\frac{k^2 V_c(\ddot{x}(t)) - kP(I,U)}{K_2 K_3}}{\frac{K_1 (V_c(\ddot{x}(t)) + \Gamma(\ddot{y}(t)))}{k}} = \frac{(k^2 V_c(\ddot{x}(t)) - kP(I,U))k}{K_2 K_3 (K_1 (V_c(\ddot{x}(t)) + \Gamma(\ddot{y}(t)))} \quad (10)$$

$Q_m(\Delta T)$ бағалау үшін ГТҚ моделі қажет болады. Осы модельдің көмегімен біз ГТҚ пайдаланылған газдың шығыс температурасының әрекетін бағалаймыз.

ГТҚ математикалық модельдерін құрудың көптеген жолдары бар. Модельдердің әр түрлі түрлері әр түрлі тәсілдерді қолдана отырып және әр түрлі мақсаттарда дамыды. Біздің жағдайда, ГТҚ математикалық моделі пайдаланылған газ температурасының ГТҚ қуатына тәуелділігін немесе турбинаның айналу жылдамдығымен пайдаланылған газ температурасының тәуелділігін анықтау үшін қажет. Өз кезегінде мұндай тәуелділік $V_c(y(t))$ биогазының көлеміне және $y(t)$ параметрлерінің қасиеттеріне байланысты. Біздің модельдің мақсаты жылу энергиясын бағалау болғандықтан $Q_{\text{жылу}}(T_2)$ пайдаланылған газдың бастапқы қалдықтарынан Q_m алынады және алынған $Q_m(\Delta T)$ пайдалы жылу, шегерілген $Q_{\text{жылу}}(T_2)$ мұндағы $(\Delta T) = T_1 - T_2$ мұндағы T_3 бұл атмосфераға шығарылатын газдың температурасы.

Осылайша, біздің математикалық моделіміз үшін температураны бағалау қажет T_2 жылу энергиясының $Q_{\text{жыл}}$ бастапқы қалдықтан алынған Q_m .

Осылайша, ГТҚ термиялық тиімділігін келесі өрнектен анықтауға болады:

$$\mu_{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (11)$$

мұндағы T_1, T_2 – турбинаның кірісі мен шығысындағы жұмыс денесінің (газдың) температурасы, сәйкесінше, турбинаның шығысындағы газдардың температурасын қарапайым арақатынас бойынша табуға болады:

$$\frac{T_1}{T_2} = \pi_k^{0.25} \quad (12)$$

мұндағы $\pi_k = p_{\text{кір}}/p_{\text{шығ}}/p_{\text{ауа}}$ компрессорының қысу коэффициенті, ол $P_{\text{шығ}}$ компрессордың артындағы қысымның қатынасы $P_{\text{кір}}$ алдындағы қысым ретінде анықталады. Мысалы, қысу коэффициенті $\pi_k=14$ және турбина алдындағы температурасы бар ГТҚ үшін:

$T_1 = 1300$ °C, оның артындағы температура шамамен келесідей болады:

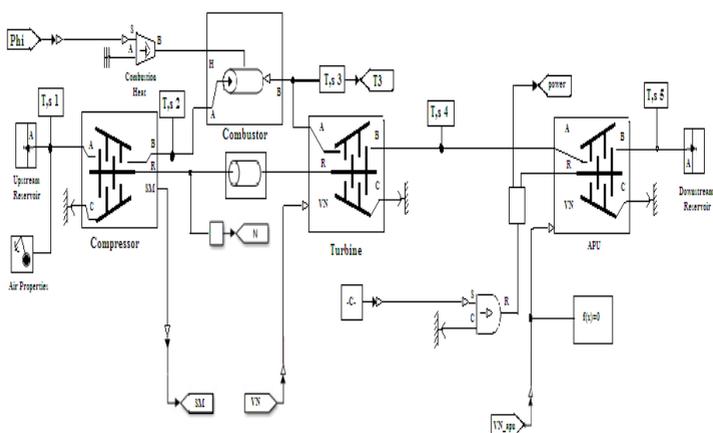
$$T_2 = \frac{T_1}{\pi_k^{0.25}} = \frac{1300}{14^{0.25}} = 672^\circ\text{C} \quad (13)$$

Осы шарттар үшін ГТҚ термиялық тиімділігі:

$$\mu_{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1300 - 672}{1300} = 48\% \quad (14)$$

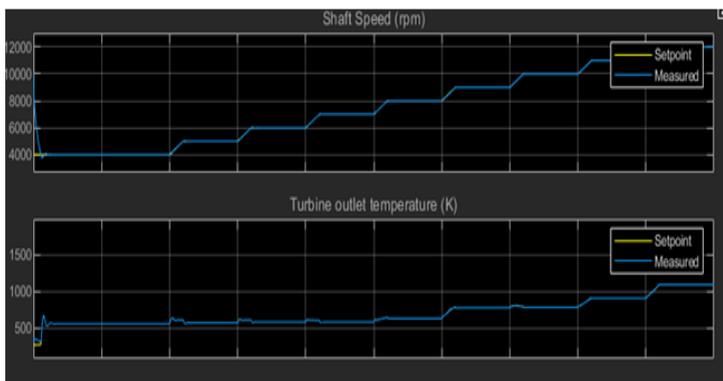
Қолданыстағы ГТҚ термиялық тиімділігі 40-тан 65 % – ға дейін, бірақ осы типтегі электр станцияларының нақты тиімділігі 35 % – дан аспайды. ГТҚ тиімділігінің салыстырмалы түрде жоғары емес мәндері шығатын газдардың құбырына шығарылатын жылудың айтарлықтай жоғалуына (жоғары температураға байланысты) және компрессорда ауаны сығуға жұмсалатын энергияның үлкен жоғалуына байланысты (ауаны сығу үшін суды сығуға қарағанда әлдеқайда көп энергия қажет).

Біз T_2 температурасын бағалауымыз керек. Сондықтан біз аталған мақсатта қолданылатын Simulink, MATLAB сияқты бағдарламада құрастырылған математикалық модельді пайдалана аламыз. 8-суретте ГТҚ құрылымдық схемасы көрсетілген [12].



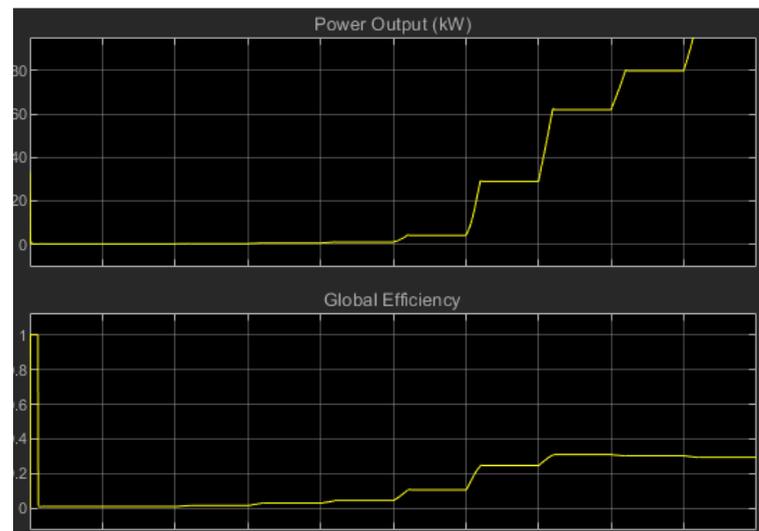
Сурет 8 – Matlab Simulink-те жасалған құрылымдық схема

Осы модель негізінде біз жылу батареясына берілетін T_1 Шығыс температурасын бағалаймыз. Көрсетілгендей теңдеу бұл температура және жылыжай шаруашылығына беріледі. Біз бұл температураны 10-суреттегі графиктер негізінде табамыз. Ол үшін ГТҚ кіріс параметрлері үшін $T=1000\text{K}$, $P=0,101\text{ МПа}$, біз ГТҚ шығыс параметрлерін табамыз.

Сурет 9 – Кіріс нәтижелері: $T_1=1000\text{ K}$, $P=0,101\text{ МПа}$, шығыс нәтижелері $T_2=1500\text{ K}$, $P=0,201\text{ МПа}$ болады

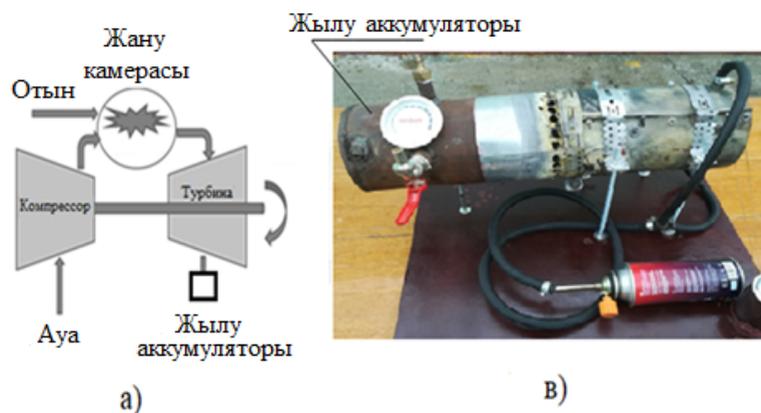
Графиктен T_2 температурасының тиісті қажетті мәнін таба аласыз. 9-ші суретте көрсетілген график бойынша берілген (10) формуланың берілу функциясы негізінде алынады.

Қуат пен тиімділіктен (12) формула бойынша ауа компрессорының қысу дәрежесін анықтаймыз.



Сурет 10 – Компрессордың тиісті қуаты мен тиімділігі

Төменде ТГ гибриді жүйесінде көрсетілген модельде жылу энергиясын өндіруді есептеу алгоритмін қарастырамыз (сурет 11, в). Модельдік ГТҚ техникалық деректері асинхронды генераторды таңдау кезінде оңтайлы шешім ретінде анықталды. Себебі құны бойынша асинхронды генераторлар арзан, сонымен қатар құрастыру өте оңай. Генератор ретінде біз АИР56А4 таңдаймыз, мұндағы қуат $p=0,12\text{ кВт}$, айналым саны $n=1500\text{ айн/мин}$, ток күші $I=0,5\text{ А}$, кернеу $U=240\text{ В}$.



Сурет 11 – Жалпы модельдік схема а) және эксперименттік модель ГТК в)

1л биогазды пайдаланған кезде тұрақты жұмыс сағатына 3,3 кВт электр энергиясын және бір уақытта 3500 ккал жылу өндірді. Электр және жылу энергиясын алу газ бен ауаның берілуімен бақыланады. Егер сіз 30л үлкен тұрмыстық цилиндрді қолдансаңыз, онда біз 30-35 сағаттық жұмыс циклімен шамамен 95 кВт электр энергиясын аламыз және жергілікті температураға байланысты 330x103 ккал жылу аламыз.

Бұл жағдайда жылу батареясының өлшемі 2x2x3 м болды (сурет 3). Егер пайдаланылған газдың температурасы 7000С болса, онда жылу батареясындағы жылу энергиясы формула бойынша есептеледі:

$$Q = cm(700C^0) \tag{15}$$

С суы үшін 4200 Дж/кг =бұршақ екенін ескерсек, жылу батареясындағы судың массасын есептеу қиын емес.

Жылу батареясының көлемі 12 м3. Ал ондағы судың массасы 14,4 кг құрайды.

$$Q_m(\Delta T) = \frac{4200\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 14,4\text{кг} \cdot 700C^0 = 42336000\text{Дж} = 42,336\text{МДж}$$

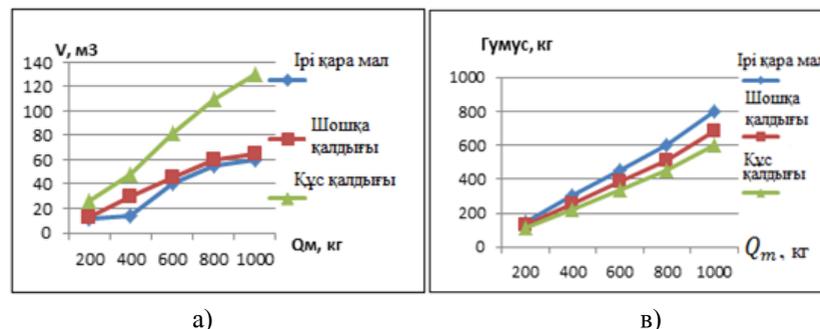
Төменде математикалық модельден алынған нәтижелер келтірілген.

Тәжірибе көрсеткендей, 1 м3 биогаздан шамамен 25 МДж жылу алуға болады (330 x 103 ккал жылу аламыз).

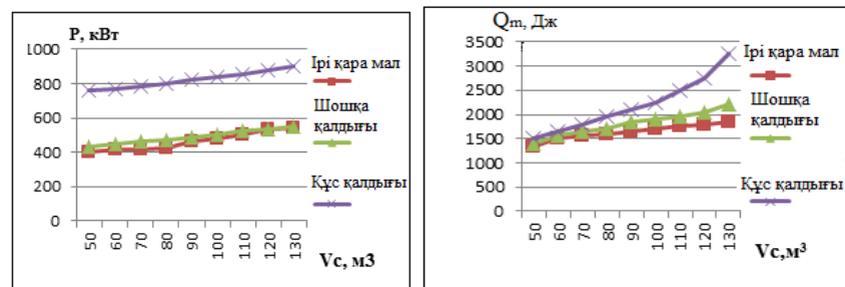
1 кестеде модельдік ГТК-де пайдаланылған газдан - пайдалы жылу энергиясын алуды бағалау үшін қолданылатын эксперименттік деректер келтірілген (сурет 7). Мұнда гумустың шығуы коэффициентіне байланысты Кі бастапқы қалдықтың анықтаушы түрі

Кесте 1 – Эксперименттен алынған нәтижелер

№	Ірі қара мал қалдығы, кг					Шошқа қалдығы, кг					Құс қалдығы, кг				
	200	400	600	800	1000	200	400	600	800	1000	200	400	600	800	1000
Q _т , Дж	300	600	900	1200	1500	300	600	900	1200	1625	1500	1800	2250	2750	3250
P (I,U), Вт	80	160	240	300	414	112	224	300	400	448,5	150	300	450	600	897
Gu мус, кг	150	300	450	600	800	127.5	255	382.5	510	680	112.5	225	337	450	600
V, м3/кг	12	24	40	55	60	13	30	45	60	65	26	48	82	110	130



Сурет 8 – Биогаздың а) және гумустың в) бастапқы қалдық түріне тәуелділігі



а) б)
Сурет 9 – Электр энергиясының а) және пайдалы жылуының
в) биогаз көлеміне тәуелділігі

1-кестеден біз қажетті жылу және электр энергиясын таңдаймыз, содан кейін осы R және Q_m негізінде ГТҚ орнатамыз. Төменде ГТГ іске қосу алгоритмі берілген.

- 1-кестенің негізінде қажетті жылу Q_m ;
- Q_m негізінде өндірілетін V_c таңдаймыз;
- V_c негізінде тиісті ГТҚ таңдаймыз;
- Алгоритмнің соңғы кезеңінде Q_m бастапқы қалдық түрін таңдаймыз;
- Осы мәліметтер негізінде біз ГТГ-ді іске қосамыз.

Нәтижелер мен талқылаулар. ГТГ тарату желісіне қосылған кезде, әрбір есептік үшін орындалуы керек негізгі міндеттердің бірі-генератордың жүктемелерін бөлу. Бұл келесідей жүзеге асырылады:

- 1 ГТГ қуатын ықтимал генерациялау ГТҚ түрінен анықталады.
- 2 Белсенді қуаттың жоғалуы ықтимал өндірілген электр энергиясын тұтынушыға беру кезінде белсенді қуаттың жоғалуы анықталады.
- 3 Егер өндірілетін ГТГ электр энергиясының жалпы қуаты тұтынушының жүктемесінен кем болмаса, онда мұның бәрі ГТҚ есебінен жабылады.
- 4 Егер артық энергия болса, онда ол энергия жинақтау блогына (ЭЖБ) беріледі. ЭЖБ толығымен толтырылған жағдайда, ГТҚ қуаты тиісті шамаға азаяды.
- 5 Егер өндірілетін электр энергиясының жалпы ГТҚ қуаты тұтынушылардың жүктемесінен аз болса, қуат тапшылығы ЭЖБ есебінен жабылады.

Қорытынды. Электр және жылу энергиясын өндірудің тиімді, экологиялық таза технологияларын дамыту энергетикалық дағдарысты еңсеруге және қоршаған ортаның экологиялық жағдайын жақсартуға ықпал ететін қазіргі заманғы энергетиканы дамытудың басым бағыты болып табылады.

Біздің елімізде ауылшаруашылық, мал шаруашылығы және өсімдік шаруашылығы қалдықтарының үлкен қорының болуы бізді бұл қалдықтарды жылыжай шаруашылықтарына қажетті жылу, электр энергиясы мен өнімді топырақ алу үшін ЖЭК түрінде пайдалануға итермеледі. Жылу және электр энергиясын өндіретін таратылған генерациялау ТГ жүйесін жобалау үшін қалдықтардан алынатын биогазбен жұмыс істейтін ГТҚ пайдаланылды. Осындай ГТҚ негізінде гибриді жүйе деп аталатын гибриді жүйесінің дизайны ұсынылды. Ұсынылған гибриді ТГ көмегімен келесідей практикалық нәтижеге қол жеткізуге болады. Біріншіден, өзіндік құны төмен жылу және электр энергиясын алу үшін биоқалдықтарды пайдалану мүмкіндігі пайда болды. Екіншіден, ТГ гибриді жүйесінде жұмыс істейтін ГТҚ үшін отын ретінде биоқалдықтардан алынған биогазды пайдалану мүмкіндігі дәлелденді. Сонымен қатар, ұсынылған гибриді жүйенің тағы бір артықшылығы, яғни, ГТГ математикалық моделін құрудың жетілдірілген тұжырымдамасы өзінің өнімділігін көрсетті және бұл жүйеге патент алынды. Гибриді жүйенің құрастырылған математикалық моделі ТГ, өлшеу кезінде көрсетілген энергияның кіріс қалдықтарының Q_m (ΔT) пайдалы жылу энергиясына тәуелділігін бағалауға мүмкіндік берді. Мұндай бағалау үшін ТГ гибриді жүйесінің беріліс функциясы құрылды. Қажетті есептеу параметрлері MATLAB Simulink-те жасалған бағдарламаның көмегімен анықталды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Тулеметова, А. С., Полежаева, И. С., Есиркепова, А. М. Эффективное использование и перспективы развития нетрадиционных источников энергии Казахстана / Вестник КазНУ: Серия экономическая, 2014. – № 4 (104). – С. 70-75.
- 2 Нурғалиев, Д. Потенциал «Зеленого роста» / «Казахстанская правда», 4 июля 2014 года. – С. 82.
- 3 Меирбекова, О. Д., Рустамов, Н. Т. К вопросу создания гибридных энергетических систем. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», Ташкент, 2022. – С. 83–90.
- 4 Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, Askhat Berguzinov. CREATION OF A HYBRID POWER PLANT OPERATING ON THE BASIS OF A GAS TURBINE ENGINE. / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 2/8 (116) 2022. – 29–37.
- 5 Пат. № 7970 Республика Казахстан. Гибридная система для выработки тепловой и электрической энергии / Н. Т. Рустамов ; А. Т. Меирбеков ; Н. Р. Аvezова; О. Д. Меирбекова ; Ш. А. Бабахан ; зарегистрирован РК 24.11.2022г., опубл. 24.11.2022г.

6 Пат. № 29833 Республика Казахстан. Способ всепогодного электроснабжения теплицы из альтернативного источника энергии / Н. Т. Рустамов; А. Т. Мейрбеков; Д. Мейрбекова; зарегистрирован РК 29.10.2021., опубл 04.01.2022г.

7 **Рустамов, Н. Т., Конусов, Б. Р., Рустамов, Е. Н.** Создание гибридного источника энергии / Вестник МКТУ им. А. Ясауи, № 1(81), 2013, с.69-72.

8 **Даменов, Е. А., Рустамов, Н. Т.** Создание гибридных энергетических систем / Техника. Технологии. Инженерия, 2018.-№2. – С.33–35.[Электронный ресурс] – URL <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3222/>.

9 **Стенников, В. А.** Централизованная и распределенная генерация - не альтернатива, а интеграция / В.А. Стенников, Н.И. Воропай //Известия РАН. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 64–73.

10 **Щеклеин, С. Е., Дубинин А.М.** Сравнительный анализ удельных показателей когенерационной газотурбинной установки, работающей на продуктах окисления алюминия и бора / Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE) – 2019. – № 28-33 (312-317), с. 73–85.

11 **Patton, R.J., Simani, S., Daley, S. and Pike, A.,** (2000). Fault Diagnosis of a Simulated Model of an Industrial Gas Turbine Prototype Using Identification Techniques. IFACProceedingsVolumes, 33(11), p.511–516.

REFERENCES

1 **Tulemetova, A. S., Polezhaeva, I. S., Esirkepova, A. M.** Эффективное использование и перспективы развития нетрадиционных источников энергии Казахстана [Effective use and prospects for the development of non-traditional energy sources in Kazakhstan] / Vestnik KazNU: Seriya ekonomicheskaya. – 2014. – № 4 (104). – P. 70–75.

2 **Nurgaliev, D.** Потенциал «зеленого роста» [Potential of «Green Growth»] / «Kazakhstanskaya pravda», 4 iyulya 2014 goda. – p. 8.2.

3 **Meirbekova, O. D., Rustamov, N. T.** К вопросу создания гибридных энергетических систем [On the issue of creating hybrid energy systems]. // Zhurnal «Problemy informatiki i energetiki», Tashkent, 2022, №3, P.83–90.

4 **Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, Askhat Berguzinov.** CREATION OF A HYBRID POWER PLANT OPERATING ON THE BASIS OF A GAS TURBINE ENGINE. / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 2/8 (116) 2022.– P. 29–37.

5 Пат. № 7970 Respublika Kazakhstan. Gibrinaya sistema dlya vy`rabotki teplovoj i elektricheskoy energii [Hybrid system for generating thermal and electrical

energy] / N. T. Rustamov; A. T. Meirbekov; N. R. Avezova; O. D. Meirbekova; Sh. A. Babakhan; zaregistrovan RK 24.11.2022g., opubl. 24.11.2022g.

6 Pat. # 29833 Respublika Kazakhstan. Sposob vsezonnoye`lektronsnabzheniya teplicy` iz al`ternativnogo istochnika e`nergii [Method of all-season power supply to a greenhouse from an alternative energy source] / N. T. Rustamov; A. T. Meirbekov; D. Meirbekova; zaregistrovan RK 29.10.2021., opubl 04.01.2022g.

7 **Rustamov, N. T., Konusov, B. R., Rustamov, E. N.** Sozdanie gibrinogo istochnika e`nergii [Creation of a hybrid energy source] / Vestnik MКТU im. A. Yasau, # 1(81), 2013, P. 69-72.

8 **Damenov, E. A., Rustamov, N. T.** Sozdanie gibrinny`kh e`nergeticheskikh sistem [Creation of hybrid energy system] / Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya, 2018.-#2.-S.33-35. [Electronic resource] – URL <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3222/>.

9 **Stennikov, V. A.** Centralizovannaya i raspredelennaya generacziya - ne al`ternativa, a integracziya [Centralized and distributed generation - not an alternative, but integration] / V.A. Stennikov, N.I. Voropaj //Izvestiya RAN. E`nergetika. – 2014. – # 1. – P. 64-73.

10 **Shheklein, S. E., Dubinin, A. M.** Sravnitel`ny` analiz udel`ny`kh pokazatelej kogeneracziionnoj gazoturbinoj ustanovki, rabotayushhej na produktakh okisleniya alyuminiya i bora [Comparative analysis of specific indicators of a cogeneration gas turbine unit operating on aluminum and boron oxidation products] / Mezhdunarodny`j nauchny`j zhurnal «Al`ternativnaya e`nergetika i e`kologiya» (ISJAEE)- 2019. – # 28-33 (312-317), P. 73-85.

11 **Patton, R. J., Simani, S., Daley, S. and Pike, A.,** (2000). Fault Diagnosis of a Simulated Model of an Industrial Gas Turbine Prototype Using Identification Techniques. IFACProceedingsVolumes, 33(11), P.511-516.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

**О. Д. Мейрбекова¹, Н. Т. Рустамов², А. Н. Бергузин³, А. Г. Калтаев⁴*

^{1,2}Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан

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

Принято к изданию 18.09.23.

**СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ,
РАБОТАЮЩЕЙ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В данной работе впервые рассмотрен вопрос, связанный с созданием гибридной распределенной системы генерации, работающей на газотурбинном двигателе, используемом на биогазовом топливе из отходов животноводства и сельского хозяйства. Доказана возможность использования биоотходов для получения тепловой и электрической энергии с низкой себестоимостью, а также возможность использования биогаза, полученного из биоотходов, в качестве топлива для ГТУ, работающего в гибридной системе РГ. Было отмечено, что при построении гибридной распределенной системы генерации на базе газотурбинного двигателя (ГТУ) в результате можно получить не только тепло и электричество, но и столь необходимый продукт в тепличных хозяйствах, то есть перегной. Были рассмотрены проблемы, связанные с трудностями в управлении гибридными энергетическими системами, работающими на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также недостатки при использовании этих систем. Учитывая преимущества и недостатки этих систем, было предложено, что для создания гибридных энергетических систем выгодно использовать газотурбинные двигатели (ГТУ) и приведена схема установки, принцип ее работы. Приведена математическая модель управления гибридной распределенной энергией. Необходимые вычислительные параметры были определены с помощью программы, созданной в MATLAB Simulink.

Ключевые слова. Биогаз, газотурбинный двигатель, региональная генерация, математическая модель, гибридная система, управление.

**O. D. Meirbekova¹, N. T. Rustamov², A. N. Berguzinov³, A. G. Kataev⁴*

*^{1,2}Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University,
Turkistan, Republic of Kazakhstan*

^{3,4}Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

Accepted for publication on 18.09.23

**CREATION OF A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM
OPERATING ON THE BASIS OF A GAS TURBINE ENGINE**

In this work, for the first time, the issue was considered related to the creation of a hybrid distributed generation system operating on a gas turbine engine, which uses biogas obtained from animal husbandry and agricultural waste. With the proposed hybrid DG, the following problems that give practical results are proved, that is, the possibility of using bio-waste to obtain heat and electricity at a low cost, and the possibility of using biogas obtained from bio-waste as fuel for GTE operating in a hybrid DG system. It was noted that when a hybrid distributed generation system was built on the basis of a gas turbine engine (GTE), as a result, it was possible to obtain not only heat and electricity, but also a product that is so necessary in greenhouse farms, that is, humus. Issues related to the difficulties in managing hybrid energy systems operating on the basis of renewable energy sources were considered, as well as disadvantages when using these systems. Taking into account the advantages and disadvantages of these systems, it was proposed that it is more profitable to use gas turbine engines (GTE) to create hybrid power systems, and the scheme of the unit, the principle of its operation were given. A mathematical model of Hybrid Distributed Energy Management is given. The necessary calculation parameters were determined using the program developed in MATLAB Simulink.

Keywords. Biogas, gas turbine engine, regional generation, mathematical model, hybrid system, control.

<https://doi.org/10.48081/DKNN7102>

***А. К. Мерғалимова¹, С. Б. Ыбрай², А. В. Атякшева³,
Б. Т. Бахтияр⁴**

^{1,2,3,4}Қазақстан Республикасының аграрлық-техникалық университеті

e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru,

ҚАЗАНДЫҚ ӨРТІНЕ АРНАЛҒАН ТАЗА КӨМІР ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Мақалада көмірді арнайы термиялық өңдеу кезінде бөлінетін газ тәрізді отынмен іске қосылатын мазутты ауыстыру мүмкіндігін зерттеудің теориялық және практикалық негіздері, сондай-ақ көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станцияларында қазандық қондырғыларын жағудың осы әдісін енгізу қарастырылады. Қажетті газ тәріздес отынды алу үшін көмірдің үш түрін эксперименттік зерттеу нәтижелері берілген.

Зерттеу нәтижелері басқа нәтижелермен салыстырылып пиролиз газдың көпшілігі 600-900 °C температурада түзілетіндігі анықталды. Метан мен ауыр көмірсутектердің жоғары концентрациясына байланысты газдың жылулық құндылығы 500 °C-та ең жоғары көрсеткішке ие болады.

Көмірден ұшпа отынды алудың бұл процесі көмірді газдандыру процесі емес. Газдандыру технологиялары күрделірек және қымбат. Дегенмен, қарастырылып отырған процестің жоғары температуралы пиролиз және газдандыру процестерінен айырмашылығы, қыздыру тек жанғыш ұшқыш заттардың бөлінуіне қажетті температураларға дейін, қажетті көлемде және жеткілікті жану жылуымен жүзеге асырылады. бұл көмірдің ерекшеліктеріне байланысты.

Ұнтақ көмір стансаларында іске қосу мазутының орнын толтыруға қабілетті газ тәріздес отынды алу үшін қатты отынның үш түрі тәжірибелік түрде зерттелді, олардың кен орындары Қазақстанда орналасқан: Майкөбе қоңыр көмірі, Шұбаркөл қоңыр көмірі және Сарыадыр қоңыр көмірі.

Кілтті сөздер: көмір, мазут, ұшқыш жанғыш заттар, жылу электр станция, қазандық қондырғы.

Кіріспе

Қазіргі уақытта негізгі отын ретінде табиғи газды және/немесе көмірді пайдаланатын барлық жылу электр станциялары (ЖЭС) және ірі қазандықтар резервтік, апаттық және тәжірибелік отынмен қамтамасыз етілген. Әдетте, бұл отын мазут болып табылады. Дегенмен, жанармай ретінде мазуттың бірқатар елеулі кемшіліктері бар. Көмірді мазутпен біріктіргенде қазандықтардың экологиялық және экономикалық көрсеткіштері нашарлайды: отынның механикалық аз жануы артады және жалпы тиімділік төмендейді (өз қажеттіліктеріне жұмсалатын шығындардың өсуіне байланысты), берілген электр энергиясына эталондық отынның үлестік шығыны артады. , конвективтік қыздыру беттерінің жоғары температуралық коррозиясы артып, оксидтердің шығымы артады. Азот пен күкірт (мазут құрамында күкірт жоғары болған жағдайда), канцерогенді ванадий пентоксидінің шығарындылары пайда болады [1,2,3]. препарат. пайдалануға арналған мазут [3]. Резервуарларға құю және кейіннен резервуарлардан түсіру оны қолайлы өтімділік күйіне дейін қыздыруды талап етеді, бұл, әдетте, су буын пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Бұл мазутты тиеу және түсіру пункттерінде қажетті температурасы бар бу көзі болуы керек дегенді білдіреді. Резервуарларда қыздыру мен араластырудан басқа, сонымен қатар қоймадан бастап саптамаға дейінгі барлық қозғалыс жолында мазуттың айналымын сақтау қажет, қажет болған жағдайда пешке мазут беру мүмкіндігін қамтамасыз ету қажет. Сондықтан мазутты жағуға дайындау күрделі және көп уақытты қажет ететін процесс болып табылады, онда мыналарды қамтамасыз ету қажет: мазуттағы судың аз болуы (3 %-ға дейін), суды мазутпен терең араластыру, қажетті мазуттың қыздыру температурасы. Тағы бір маңызды аспект – бұл баға, мазут – қымбат энергетикалық отын.

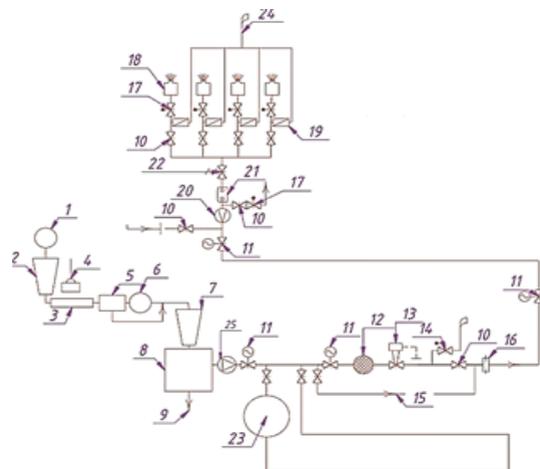
Жоғарыда аталған факторлардың барлығы қазіргі заманғы жылу энергетикасының өте өзекті міндетіне айналдырады - көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станцияларында қазандықтарды майсыз жағудың жаңа технологияларын әзірлеу.

Көмірдің пиролиздік газдардың құрамы мен қасиеттерін түсіну үшін көмірдің пиролиз газдарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу керек. Өртүрлі зерттеулер әр түрлі температурада көмірден алынатын пиролиз газдарының газ құрамы мен шығымын зерттеді [4,5,6]. Көмірдің пиролиздік газдарының газдық құрамы температураға байланысты өзгереді, газдың көпшілігі 600-900 °C температурада түзіледі [7]. Метан мен ауыр көмірсутектердің жоғары концентрациясына байланысты газдың жылулық құндылығы 500 °C-та ең жоғары болады [8]. Көмірдің пиролиздік газдары сутегі көзі және одан әрі пиролиз процестері үшін жылу көзі ретінде де пайдаланылуы мүмкін. Қосылған газ хроматографиясы/масс-

спектрометриялық детекторлары бар пиролиз жүйелерінің дамуы пиролиз өнімдерінің, соның ішінде пиролиз кезінде бөлінетін жеңіл газдардың сапалық және сандық талдауына мүмкіндік береді. Бұл зерттеулер көмірдің пиролизі және пиролиз газдарын энергия көздері немесе одан әрі өңдеу үшін шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігі туралы құнды түсініктер береді.

Материалдар мен әдістер

Пайдалы модель патенті [5] қазандықтарды майсыз жағудың, көмір алауының тұтануы мен жануын тұрақтандырудың дамыған, тиімді, экологиялық және экономикалық тұрғыдан қолайлы әдісін ұсынады. Бұл технология алынған газ тәрізді отынды пайдалануға негізделген. көмірді термиялық өңдеу арқылы. 1-суретте жанатын отын ретінде жанғыш ұшатын заттарды пайдалана отырып, қазандықты майсыз жағудың мүмкін болатын технологиялық схемасы көрсетілген.



- 1- автосамосвал, 2- қабылдау бункері, 3- таспалы конвейер,
4- электромагниттік сепаратор, 5- вибрациялық экран, 6- балғалы диірмен,
7- шикі көмір бункері, 8- көмір жылыту құрылғысы, 9- көмір шығарғыш,
10- газ қақпағы клапаны, 11- электр қақпағы клапан, 12- механикалық сүзгі,
13- газ қысымын реттегіш, 14- сақтандырғыш клапан, 15- айналма желі,
16, 20- шығын өлшегіш, 17- газ реттегіш клапан, 18- газ оттығы,
19- тығынды клапан, 21- жылдам әрекет ететін газ клапаны, 22- ағынды реттегіш,
23- газ қоймасы - қабылдағыш, 24- қауіпсіздік шамы, 25- желдеткіш.

Сурет 1 – Жанғыш ұшқыш заттарды пайдалана отырып, қазандық қондырғысын жағу технологиясының схемасы

Жанғыш ұшпа заттарды шығару арнайы пеш құрылғысында (8) жүзеге асырылады, онда оттегіге қол жеткізбестен көмір қабаты қызады. Көмірді жылытуға қажетті бастапқы жылу энергиясын тасымалдаушы ретінде мыналарды қолдануға болады: бу, жұмыс істейтін қазандық болған кезде; электр немесе жылу энергиясының басқа тасымалдаушысы. Жану кезінде қыздырудан кейін бөлінетін жанғыш ұшқыш заттар (CO, H₂, CH₄ және т.б.) тікелей қазандықтың оттықтарына (18) түседі, жанғаннан кейін олар арнайы газ сақтайтын қабылдағышта (23) жиналуы мүмкін. белгілі бір қысым және болашақта олар жалынның жануын тұрақтандыру үшін пайдаланылуы мүмкін [6,7].

Көмірден ұшпа отынды алудың бұл процесі көмірді газдандыру процесі емес. Газдандыру технологиялары күрделірек және қымбат. Дегенмен, қарастырылып отырған процестің жоғары температуралы пиролиз және газдандыру процестерінен айырмашылығы, қыздыру тек жанғыш ұшқыш заттардың бөлінуіне қажетті температураларға дейін, қажетті көлемде және жеткілікті жану жылуымен жүзеге асырылады. бұл көмірдің ерекшеліктеріне байланысты.

Нәтижелер және талқылау

Ұнтақ көмір стансаларында іске қосу мазутының орнын толтыруға қабілетті газ тәріздес отынды алу үшін қатты отынның үш түрі тәжірибелік түрде зерттелді, олардың кен орындары Қазақстанда орналасқан: Майкөбе қоңыр көмірі, Шұбаркөл қоңыр көмірі және Сарыадыр қоңыр көмірі.

Алдын ала өңделген көмір үлгісі (өлшемі шамамен 5 мм бөлшек) тәжірибе камерасындағы субстратқа орналастырылды. Әрі қарай, қыздырғыштағы кернеудің біркелкі өсуі жүзеге асырылды, бұл температураның жоғарылауына әкеледі. Температураның жоғарылауы нәтижесінде үлгінің термиялық жойылу процесі басталады, осылайша ұшпа қосылыстардың сублимациясын бастайды.

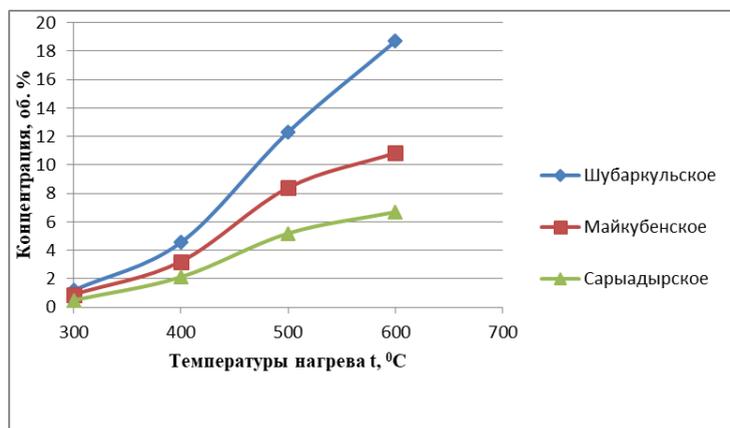
Эксперимент барысында жылу өрісінің динамикасының суреттерін құру үшін үлгінің белгілі бір нүктелерінде температура динамикасы өлшенді. Тәжірибе кезінде және аяқталғаннан кейін камерада газ үлгілері алынады және талданады. Газды іріктеу тікелей камерада жүргізіледі және полимерлі пневматикалық шланг арқылы LFR-1/4-D-5M-MINI фильтр-реттегішіне түседі. Бұл құрылғы камерадағы қысымға әсер етпей, газ үлгісін алуға мүмкіндік береді, сонымен қатар газдан аэрозоль фазасын және шаң бөлшектерін жояды. Сүзгі-реттегіштен кейін газ алынған газды талдайтын Agilent 7890 хроматографына түседі.

Тәжірибе ұзақтығы 600°C максималды температураның көрсетілген мәніне жетумен шектелді.

2-суретте негізгі жанғыш газ компоненттерінің (CO, H₂, CH₄) 300–600 °С аралығындағы температураға тәуелділіктері, 1- кестеде олардың жалпы шығымы көрсетілген.

Кесте 1 – 300 °С -тен 600 °С -ге дейінгі температура диапазонында жанғыш газ компоненттерінің (CO, H₂, CH₄) жалпы шығымы

Көмір үлгілерінің кен орны	Қыздыру температурасына байланысты CO, H ₂ , CH ₄ жалпы шығымы (көлеммен%), °С			
	300	400	500	600
Шұбаркүл	1,2	4,56	12,32	18,71
Майкөбе	0,9	3,22	8,41	10,85
Сарыадыр	0,5	2,13	5,2	6,70



Сурет 1 – Жанғыш газ компоненттерінің шығысының (CO, H₂, CH₄) қыздыру температурасына тәуелділігі

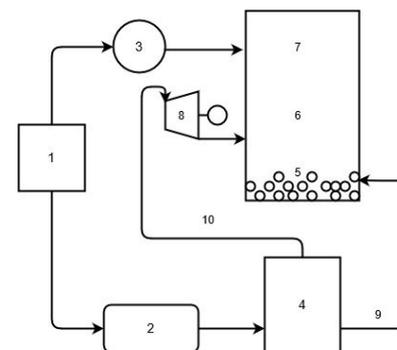
Тәжірибе нәтижелері бойынша көмір үлгілерін қыздыру температурасының 300-ден 600 °С – қа дейінгі аралықта жоғарылауымен жанғыш газ компоненттерінің көлемдік концентрацияларының жоғарылайтынын көруге болады. Газдың құрамы да температураның жоғарылауымен айтарлықтай өзгереді.

Ұсынылған көмір үлгілерінен әртүрлі қыздыру температураларында алынған газдың жылулық құндылығын есептеу нәтижелері қыздыру температурасының жоғарылауымен көмір үлгілерінен алынған жанғыш газдардың жылулық құндылығының да жоғарылайтынын көрсетті. Барлық қарастырылған көмір үлгілері үшін жану жылуының максималды мәнін 600°С қыздыру температурасында байқауға болады. Ең жоғары көрсеткіш

Шұбаркөл кен орнының тас көмірінде – 29,1 МДж/м³, ал Сарыадыр кен орнының қоңыр көмірінде – 13,5 МДж/м³.

Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері бойынша жанғыш газды өндіруге ұсынылған үш көмірдің ішінде Шұбаркөл және Майкөбен кен орындарының көмірлері қолайлы деген қорытынды жасауға болады. Қазандықта бастапқы отын ретінде пайдалану үшін көмірді 350-450 °С температураға дейін қыздыру жеткілікті. Алынған жанғыш газ салыстырмалы түрде төмен қыздыру температурасында қажетті көлемде шығарылады және қазандықтарды жағу процесінде пайдалану үшін жеткілікті жану жылуына ие, осылайша ол қымбат және жұмыс істеуі қиын мазутты алмастыра алады.

Көмір жағатын объектілердің экологиялық көрсеткіштерін жақсарту үшін қабатты және ұнтақты жануды газ тәрізді заттардың жануымен біріктіру мүмкіндігін қарастыруға болады. Бұл жағдайда көмірді жағатын нысан келесідей болуы мүмкін. 3-суретте қоршаған ортаға тигізетін әсері төмендетілген көмірді біріктірілген жағу технологиясының диаграммасы көрсетілген.



1 – отын қабылдау қондырғысы, 2 – ұсатқыш, 3 – диірмен, 4 – көмірді термиялық өңдеу қондырғысы, 5 – қабаттағы негізгі отын жағу аймағы, 6 – газ тәрізді өнімдерді жағу аймағы, 7 - қызып кетуді қамтамасыз ету үшін ұнтақ көмірді жағу аймағы, 8 – газ турбинасы, 9 – көмірді термиялық өңдеудің қатты өнімдерін жеткізу, 10 – көмірді термиялық өңдеудің газ тәрізді өнімдерін жеткізу.

Сурет 3 – Қоршаған ортаға әсері төмендетілген көмірді жағудың біріктірілген технологиясының схемасы.

Түсетін көмірді қабылдау қондырғысында (1) жіктеу көмір бөлшектерін «жаңғақ» өлшемімен бөлу арқылы жүзеге асырылады. Бұл ретте көмірдің ұсақ бөлігі диірменге (3) жіберіледі, кейіннен көмір шаңы деңгейіне дейін

ұнтақтау үшін. Жаңғақ көлеміндегі көмір бөлшектері қабатты пештерге (4) беріледі, олар негізінен пештің төменгі бөлігінде (суық воронка немесе төменгі радиациялық бөлік деңгейінде) орналасқан алдын ала пештердің жиынтығы болады, онда негізгі келіп түсетін көмірдің бір бөлігі жағылады. Орташа радиациялық бөлікке (6) жақын деңгейде газ турбинасының (8) пайдаланылған газдары пешке түседі (оларды төсекке беруге болады), ол термиялық өңдеуге арналған арнайы қондырғыда көмірден алынған жанғыш ұшпа заттарды жағады. көмір. Пештің (7) жоғарғы радиациялық бөлігіне сәйкес деңгейде көмірдің жалпы көлемінің бір бөлігін ұнтақ күйінде жағу жүреді (будың қажетті қызып кетуін қамтамасыз ету үшін).

Нәтижесінде атмосфераға ұшатын күл шығарындылары 98 % ұстау жылдамдығы бар жабдықты пайдалана отырып, ұнтақ күйінде жану кезінде 99%-дан астам ұстау деңгейіне сәйкес келетін деңгейге дейін азаяды. Түгін газдарындағы азот оксидтерінің концентрациясы 500 мг/м³ дейін төмендейді деп күтуге болады. Скруббердің қабырғаларын суаратын суға әктас пен әк «сүгін» стехиометриялық қосу кезінде күкірт оксидтерінің мөлшері де 700-800 мг/м³ деңгейіне дейін төмендейді.

Бұл нәтижелер бірқатар техникалық және технологиялық шешімдерді жүзеге асыру кезінде көмір жағатын нысанның қоршаған ортаға әсерін айтарлықтай азайтуға және көмірді экологиялық қолайлы отынға айналдыруға болатынын көрсетеді.

Пиролиз реакторларын оңтайландыруға және терең өңдеудің полигендік технологияларын дамытуға назар аудара отырып, төмен дәрежелі көміртекті ресурстарын ұтымды және тиімді пайдаланудың қолайлы әдістері талқыланады [15]. Қытайдағы төмен дәрежелі көміртекті пиролиз технологияларына толық шолу негізінде, соның ішінде қозғаусыз пеш пиролиз технологиясы, шаршы ретортты пиролиз технологиясы, жаңартылған шаршы ретортты пиролиз технологиясы, қатты жылу тасымалдағыш пиролиз технологиясы, белдік типті пеш пиролиз технологиясы және айналмалы пиролиз технологиясы қарастырылды. Пиролиз процестерінің дамуында кедергі болып анықталған негізгі мәселелер - көмір шайырының шаңды бөлінуі, пиролизден кейін суларды тазарту, пиролиз реакциясының механизмдерінің аяқталмауы болып табылады.

Қорытынды

Зерттеудің осы кезеңінің нәтижелерін талдау ұнтақ көмір стансаларында іске қосу мазуттарын ауыстыру мәселесі өзекті екенін көрсетті. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелеріне сүйене отырып, көмірден қажетті отынмен газ тәрізді отынды алуға болады деген қорытынды жасауға болады. қазандықтарда жану параметрлері.

Ғылыми-зерттеу жұмысының келесі кезеңі мазуттың жануы кезінде бөлінетін күкірт оксидтерінің, азоттың, ванадий пентоксидінің шығарындыларына бастапқы отындарды ауыстыру технологиясының әсерін талдау болып табылады. Сондай-ақ, ұшатын жанғыш заттарды алудың осы технологиясы негізінде шағын елді мекендерді жылу энергиясымен қамтамасыз етуге арналған шағын қазандықтарда оларды пайдалану мүмкіндіктерін зерттеу. Осы жағдайда бұл елді мекенді энергияның үш түрімен қамтамасыз етуге болады. бір рет: тұрмыстық қажеттіліктерге арналған электр, жылу және газ отыны.

Зерттеу нәтижесінде қазандық агрегаттарын жанғыш ұшқыш заттармен майсыз жағудың ұсынылып отырған әдісі қазанды жағу үшін мазут немесе табиғи газды пайдалануды болдырмауға және оттың тұрақты тұтануын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретінін айтуға болады. шаң тәрізді алау, қазандық төмендетілген жүктемеде жұмыс істегенде. Бұл мазуттың жоғары құнына байланысты қаржылық шығындарды айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, мазутты жағуға көп сатылы дайындаумен байланысты зауыттың өз қажеттіліктері үшін энергия шығыны азаяды. Мыстардың жұмысының тиімділігі мен тиімділігі артады.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыру ғылыми жобасы аясында жүзеге асырылуда, IRN: AP19675062 «Ұшатын жанғыш заттарды өндіру үшін таза көмір технологиясын әзірлеу».

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Алияров, Б. К., Алиярова, М. Б.** Казахстан: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность и устойчивость развития энергетики // Алматы : Ғылым, 2010. – 277 с.

2 **Алияров, Б. К., Алиярова М. Б.** Сжигание Казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных // Алматы : Ғылым, 2012. – 304 с.

3 **Ермагамбет, Б. Т., Касенов, Б. К.** и др. Чистые угольные технологии: теория и практика // Караганда : «TENGR Ltd», 2013. – 276 с.

4 Till, Eckhard., Annika, Wütscher., Martin, Muhler. Simultaneous analysis of light gases and heavy pyrolyzates evolved from lignite and hard coal by pyrolysis–GC/MS–GC/TCD. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (2020). doi: 10.1016/J.JAAP.2020.104833

5 **Haigang, Hao., Jun, Zhang., Gong, Juhui., Rui, Gao.** Coal pyrolysis method comprehensively using coal pyrolysis products and heat. Patent (2018).

6 **A., A., Osokina, N., V., Zhuravleva, R., R., Potokina, Z., R., Ismagilov, P., P., Lazarevskiy, Yu., E., Romanenko, O., L., Tsiple.** Products of Coal Pyrolysis. *Coke and Chemistry* (2017). doi: 10.3103/S1068364X17120043

7 **Osokina, A. A., Zhuravleva, N. V., Potokina, R. R., Ismagilov, Z. R., Lazarevskiy, P. P., Romanenko, Yu. E., Tsiple, O. L.,** Products of Coal Pyrolysis. *Coke and Chemistry* (2017). doi: 10.3103/S1068364X17120043

8 **Stefan, Pielsticker, B., Gövert, T., Kreitzberg, Martin, Habermehl, O., Hatzfeld, Reinhold, Kneer.** Simultaneous investigation into the yields of 22 pyrolysis gases from coal and biomass in a small-scale fluidized bed reactor. *Fuel* (2017). doi: 10.1016/J.FUEL.2016.10.085

9 **Алияров, Б. К., Мергалимова, А. К.** О преимуществах использования газа для растопки котлоагрегатов // Материалы I международной научно-практической конференции студентов и аспирантов / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – С. 6–10.

10 **Алияров, Б. К., Мергалимова, А. К.** Пат. 2450. Способ безмазутной растопки котлоагрегатов /; опубл.30.10.2017, Бюл.№ 20.

11 **Алияров, Б. К., Мергалимова, А. К.** На ТЭС и котельных мазут или сжатый газ? // Матер. IV Междунар. науч. - практ. конф., посвященная 20 - летию Евразийского национального университета им Л. Н. Гумилева «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения». – Астана, 2016. – С. 43–46.

12 **Aliyarov, B., Mergalimova, A., Zhalmagambetova, U.** Application of coal thermal treatment technology for oil-free firing of boilers // *Latvian journal of physics and technical sciences.* – 2018. – Vol 2. – P. 45-54.

13 **Алияров, Б.К., Мергалимова А.К.** Технология сжигания углей со сниженным воздействием на окружающую среду // Матер.

14 **Xue, F., Li, D., Guo, Y., Liu, X., Zhang, X., Zhou, Q., & Ma, B.** Technical progress and the prospect of low-rank coal pyrolysis in China. *Energy Technology* (2017), 5(11), 1897-1907.

REFERENCES

1 **Aliyarov, B. K., Aliyarova, M. B.** Kazakhstan: energeticheskaya bezopasnost', energeticheskaya effektivnost' i ustoychivost' razvitiya energetiki [Kazakhstan: Energy Security, Energy Efficiency and Sustainability of Energy Development]. – Almaty: Gylym, 2010. – 277 p.

2 **Aliyarov, B. K., Aliyarova, M. B.** Szhiganiye Kazakhstanskikh ugley na TES i na krupnykh kotel'nykh [Combustion of Kazakh coals at thermal power plants and large boiler houses]. – Almaty : Gylym, 2012. – 304 p.

3 **Yermagambet, B. T., Kasenov, B. K.** i dr. Chistyye ugol'nyye tekhnologii: teoriya i praktika [Clean coal technologies: theory and practice]. – Karaganda: «TENGR Ltd», 2013. – 276 p.

4 **Till, Eckhard., Annika, Wütscher., Martin, Muhler.** Simultaneous analysis of light gases and heavy pyrolyzates evolved from lignite and hard coal by pyrolysis–GC/MS–GC/TCD. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (2020). doi: 10.1016/J.JAAP.2020.104833

5 **Haigang, Hao., Jun, Zhang., Gong, Juhui., Rui, Gao.** Coal pyrolysis method comprehensively using coal pyrolysis products and heat. Patent (2018).

6 **A., A., Osokina, N., V., Zhuravleva, R., R., Potokina, Z., R., Ismagilov, P., P., Lazarevskiy, Yu., E., Romanenko, O., L., Tsiple.** Products of Coal Pyrolysis. *Coke and Chemistry* (2017). doi: 10.3103/S1068364X17120043

7 **Osokina, A. A., Zhuravleva, N. V., Potokina, R. R., Ismagilov, Z. R., Lazarevskiy, P. P., Romanenko, Yu. E., Tsiple, O. L.,** Products of Coal Pyrolysis. *Coke and Chemistry* (2017). doi: 10.3103/S1068364X17120043

8 **Stefan, Pielsticker, B., Gövert, T., Kreitzberg, Martin, Habermehl, O., Hatzfeld, Reinhold, Kneer.** Simultaneous investigation into the yields of 22 pyrolysis gases from coal and biomass in a small-scale fluidized bed reactor. *Fuel* (2017). doi: 10.1016/J.FUEL.2016.10.085

9 **Алияров Б.К., Мергалимова А.К.** О преимуществах испол'зованиа газа дlya растопки котлоагрегатов [On the advantages of using gas for kindling boilers] // Materialy I mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i aspirantov / Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2017. – S. 6-10.

10 **Алияров Б. К., Мергалимова А. К.** Пат. 2450. Sposob bezmazutnoy rastopki kotloagregatov [The method of oil-free kindling of boiler units] /; opubl.30.10.2017, Byul.№ 20.

11 **Алияров Б. К., Мергалимова А. К.** На TES i kotel'nykh mazut ili szhatyy gaz? [At TPPs and boiler houses, fuel oil or compressed gas?] // Матер. IV Mezhdunar. nauch. - prakt. конф., posvyashchennaya 20 - letiyu Yevraziyskogo natsional'nogo universiteta im L.N. Gumileva «Aktual'nyye problemy transporta i energetiki: puti ikh innovatsionnogo resheniya». – Астана, 2016. – С. 43-46.

12 **Aliyarov B., Mergalimova A., Zhalmagambetova U.** Application of coal thermal treatment technology for oil-free firing of boilers // *Latvian journal of physics and technical sciences.* – 2018. - Vol 2. – P. 45–54.

13 **Алияров Б. К., Мергалимова А. К.** Tekhnologiya szhiganiya ugley so snizhennym vozdeystviyem na okruzhayushchuyu sredu [Coal combustion technology with reduced environmental impact]// Матер.

14 Xue, F., Li, D., Guo, Y., Liu, X., Zhang, X., Zhou, Q., & Ma, B. Technical progress and the prospect of low-rank coal pyrolysis in China. Energy Technology (2017), 5(11), 1897-1907.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

*А. К. Мерғалимова¹, С. Б. Ыбрай², А. В. Атықшева³, Б. Т. Бахтияр⁴

^{1,2,3,4}Қазақский агротехнический исследовательский университет

имени С. Сейфуллина, г. Астана

Принято к изданию 18.09.23.

ЧИСТАЯ УГОЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РАСТОПКИ КОТЛОВ

В статье рассматриваются теоретические и практические основы исследования возможности замены растопочного мазута на газообразное топливо, выделяемое при специальной термической обработке угля, а также внедрения данного способа растопки котловых агрегатов на угольных тепловых электрических станциях. Приведены результаты экспериментального исследования трех видов углей, с целью получения необходимого газообразного топлива.

Сравнивая результаты исследований с другими результатами, установлено, что большая часть пиролизного газа образуется при температуре 600-900 °С. Из-за высокой концентрации метана и тяжелых углеводородов теплота сгорания газа имеет наибольшее значение при 500 °С.

Данный процесс получения летучих горючих из угля не является процессом газификации угля. Технологии газификации более сложные и дорогостоящие. Однако рассматриваемый процесс отличается от процессов высокотемпературного пиролиза и газификации тем, что нагрев осуществляется только до температур, необходимых для выхода горючих летучих веществ, в необходимом объеме и с достаточной теплотой сгорания, который зависит от характеристик угля.

С целью получения газообразного топлива, способного заменить растопочный мазут на пылеугольных станциях, были экспериментально исследованы три вида твердого топлива, месторождения которых находятся в Казахстане: бурый уголь «Майкубенское», бурый уголь «Шубаркульское» и бурый уголь «Сарыадырское».

Ключевые слова: уголь, мазут, летучие горючие вещества, тепловая электрическая станция, котельные установки.

*А. К. Мерғалимова¹, С. Б. Ыбрай², А. В. Атықшева³, Б. Т. Бахтияр⁴,

^{1,2,3,4}Kazakh Agro-Technical Research University, Astana

Accepted for publication on 18.09.23

CLEAN COAL TECHNOLOGY FOR BOILER FIRE

The article discusses the theoretical and practical foundations of the study of the possibility of replacing starting fuel oil with gaseous fuel released during special heat treatment of coal, as well as the introduction of this method of kindling boiler units at coal-fired thermal power plants. The results of an experimental study of three types of coal in order to obtain the necessary gaseous fuel are presented.

Comparing the results of the research with other results, it was found that the majority of pyrolysis gas is formed at a temperature of 600-900°C. Due to the high concentration of methane and heavy hydrocarbons, the calorific value of the gas has the highest value at 500 °C.

This process of obtaining volatile fuels from coal is not a coal gasification process. Gasification technologies are more complex and expensive. However, the process under consideration differs from the processes of high-temperature pyrolysis and gasification in that heating is carried out only to the temperatures necessary for the release of combustible volatile substances, in the required volume and with sufficient heat of combustion, which depends on the characteristics of the coal.

In order to obtain a gaseous fuel capable of replacing starting fuel oil at pulverized coal stations, three types of solid fuels were experimentally studied, the deposits of which are located in Kazakhstan: Maikubenskoye brown coal, Shubarkulskoye brown coal and Saryadyrskoye brown coal.

Keywords: coal, fuel oil, volatile combustible substances, thermal power plant, boiler plants.

<https://doi.org/10.48081/GZAQ7222>

***А. Д. Мехтеев¹, Т. С. Герасименко², Е. Ж. Сарсикеев³**

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

имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

e-mail: melary-5@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ

Как известно, после многократного нагревания воды для бытовых и технологических нужд на поверхностях нагрева остается осадок в виде накипи. Этот осадок значительно уменьшает срок службы технологического оборудования и снижает эффективность теплового нагрева. В практике существуют множество способов для устранения данной проблемы. Электромагнитные и магнитные методы являются хорошей альтернативой классическим методам снижения жесткости воды, поскольку они неинвазивны и дешевы, и не требуют добавления химических веществ в воду, что благоприятно влияет на окружающую среду. В данной статье мы попробуем разобраться в процессах влияния магнитных и электромагнитных полей на соли жесткости, содержащихся в водопроводной воде и обосновать параметры электромагнитной установки, предназначенной для умягчения воды и уменьшения накипи в процессе ее нагрева. Проведенные предварительные исследования позволили сформировать основную идею и гипотезу проекта связанные с использованием электромагнитного поля для изменения свойств воды и ее очистки.

Экспериментальные исследования выполнялись в научной лаборатории КАТИУ на специальных установках, предназначенных для обработки воды постоянным и переменным магнитным полем при различных изменениях параметров электрической сети.

Ключевые слова: электромагнитная очистка, магнитная очистка, накипь, жесткость воды, обработка воды.

Введение

Процессы воздействия магнитного или электромагнитного поля на структуру воды достаточно известны и рассмотрены в научной литературе [1]. Есть несколько мнений по поводу образования и распада коллоидных комплексов катионов металлов – их фрагменты имеют особенность, связанную с формированием центров кристаллизации растворимых в воде неорганических солей. Как известно, данные центры кристаллизации адсорбируют катионы магния Mg_2^+ и кальция Ca_2^+ , это так называемые «соли жёсткости», которые вызывают накипь на поверхности нагревательных приборов. Причиной накипи является карбонатная жесткость воды. Для центрального и северного Казахстана характерна именно «жесткая вода», которая наносит немалый урон теплообменным аппаратам, котельным агрегатам, бытовым водонагревателям и другому оборудованию. Если воздействовать на поток воды магнитным или электромагнитным полем, то в воде формируется мелкодисперсный кристаллический осадок. Осадок, может быть в виде песчинок или шлама, при этом обработанная вода уже не вызывает накипи на поверхностях нагрева [1]. Имеются и другие гипотезы, которые утверждают, что при воздействии магнитного или электромагнитного поля на поток воды возникает деформация гидратных оболочек растворенных в ней ионов, что способствует процессу кристаллизации солей жёсткости [1]. Имеется также мнение, что магнитное или электромагнитное поле влияет на структуру воды, но это происходит только в зоне действия активатора, на выходе вода же не имеет четкой структуры, как при силовом воздействии поля магнита. После воздействия вода уже не вызывает устойчивой пленки отложений солей магния и кальция, при этом карбоната кальция не образуется. Накипь формируется в виде мягкой мелкокристаллической структуры, которая разрушается потоком воды [1]. В статье [1] также рассмотрены вопросы воздействия магнитного и электромагнитного поля в случае движения потока воды. На рисунке 1 представлена схема сформированного диполя. По оси Y формируются силы (сила Лоренса), обозначены как F_1 , F_2 , которые выстраивают все диполи строго в горизонтальной плоскости.

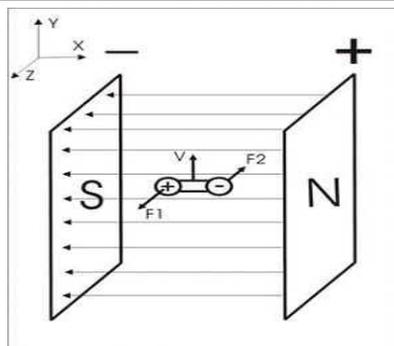


Рисунок 1-Диполь воды в магнитном поле [1].

Подробно с результатами исследований можно ознакомиться в источнике [1]. В источнике [2] рассмотрены положения диполей молекул воды при воздействии на ее поток магнитного поля постоянного магнита. Автор заявляет, что магнитное поле способно упорядочить диполи воды. Силу Лоренца, которая формирует структуру диполей в горизонтальной плоскости можно рассчитать по известному выражению [2]:

$$\vec{F}_L = q \cdot [\vec{u} \cdot \vec{B}] \quad (1)$$

Данная сила напрямую зависит от электрического заряда частиц q и скорости их движения u , а также от величины индукции магнитного поля B . На рисунке 2 представлена схема, поясняющая направления силы Лоренца в потоке воды, ее направление будет строго перпендикулярное относительно скорости движения жидкости u [1]. Соответственно ионы солей жёсткости Ca_2^+ , Mg_2^+ , Fe_2^+ и Fe_3^+ будут расположены в направлении вектора B [1].

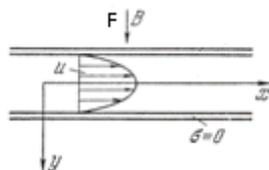


Рисунок 2 – Схема течения потока воды [1]

Анализ источников [1–3] показал, что возможно инициировать процесс кристаллизации солей жёсткости находящихся в потоке воды, при этом вода

должна обязательно находиться в движении. Если принять условие, что поток воды движется с постоянной скоростью, во внутренней полости трубы выполненной из немагнитного материала, то задается такое направление индукции магнитного поля, чтобы в середине потока сформировалась область с нулевым значением индукции [4,5]. Имеются публикации в которых приведены результаты исследований связанных с воздействием на воду различных магнитных полей [6–8], а также имеются сведения о конструкции установок для водоподготовки [9,10]. Изученные статьи [2–10] позволили сформировать свои подходы и сконструировать лабораторный стенд для проведения исследований по теме настоящей статьи. Для расчета была принята схема, где полюса магнитов располагаются одноименными полюсами, которые направлены к друг другу полюсом N (рисунок 3) [2,3]. Есть различные мнения и результаты, как лучше располагать полюса магнитов S или N, но в данной работе все полюса магнитов будут обращены именно северным полюсом N, как уже было сделано в работе [11].

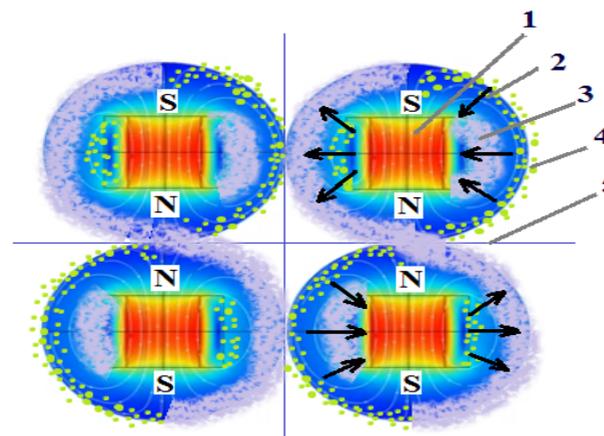


Рисунок 3 – Действие сил Лоренца на ионы воды при воздействии на нее магнитного поля. 1 – постоянные магниты, 2 – сила Лоренца, 3 – катионы, 4 – анионы, 5 - зона с нулевым значением индукции

Сила Лоренца создает условия для противотока анионов и катионов, которые взаимодействуют в зоне с нулевым уровнем магнитной индукции, это позволит запустить процесс создания «центров кристаллизаций» солей жёсткости. В этой области, силы Лоренца создадут противоток катионов и анионов, которые впоследствии будут способствовать образованию центров

кристаллизации солей и осаждению накипи. Трубопровод должен быть выполнен обязательно из немагнитного материала. Постоянные магниты будут располагаться с наружной стороны пластикового трубопровода, при этом, не вступая в контакт с потоком воды. В статье [10] рассмотрен вариант расположения постоянных магнитов внутри стального трубопровода, но от такого варианта, принято отказаться, так как магниты создают сопротивление потоку воды и могут заиливаться (загрязняться), также имеются сведения, что при таком расположении магниты могут деградировать с течением времени [11]. Выдвинутая гипотеза будет проверена на практике путем проведения натурального эксперимента.

Материалы и методы

Для подтверждения теоретических предпосылок по магнитной и электромагнитной обработке водопроводной воды, в научной лаборатории КАТИУ была собрана экспериментальная универсальная установка, способная создавать поля с разными электрическими параметрами (рисунок 4) [11].

В данной установке магнитные поля постоянного тока создавались неодимовыми магнитами в количестве от 10 до 40 шт (рисунок 4а) и электромагнитные поля, создаваемые при помощи электромагнитов переменного и постоянного тока, различной мощности (рисунок 4б).



а

б

Рисунок 4 – Экспериментальная установка: а – с постоянными неодимовыми магнитами; б – с электромагнитами

Сущность проводимого эксперимента заключалось в перекачивании воды из одной емкости в другую при помощи насоса, через участки трубопровода снабженных магнитами постоянного тока и электромагнитами переменного и постоянного тока, установленными на медной трубке диаметром 8 мм. Регулировка скорости воды, а также параметров электрических магнитов

осуществлялась посредством блока питания. После полученные пробы воды в герметичных бутылках отправлялись на анализ в лабораторию.

Уровень жесткости воды до электромагнитной обработки и после нее определялся в испытательной агроэкологической аккредитованной лаборатории НАО «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина», что позволило получить высокоточные результаты эксперимента. Для получения достоверного результата замеры уровня жесткости воды проводились каждый день на протяжении месяца.

Существует мнение, что чем больше используется постоянных магнитов, тем лучше, однако, результаты экспериментов указывают на другое. При использовании неодимовых магнитов в количестве 21 пары: 5 пар диаметром 15 мм и с индукцией магнитного поля равной 98 мкТл; 10 пар диаметром 12 мм и индукцией 89 мкТл; 9 пар магнитов диаметром 10 мм – 120 мкТл (плюс дополнительно один магнит диаметром 50 мм и индукцией 396 мкТл) наблюдалось понижение жесткости в среднем на 0,78 %. А при использовании только 9 пар магнитов карбонатная жесткость воды уменьшилась на 2,88 %. Отсюда следует, что для устранения образования накипи в системе водоподготовки воды для нагрева вполне достаточно устанавливать на трубопровод несколько пар (от 2 до 10) неодимовых магнитов, это позволит значительно снизить затраты на установку магнитной обработки воды не уменьшая качества процесса.

Результаты и обсуждение

Проведенные теоретические и практические исследования показали, что для достижения наилучшего результата нужно устанавливать магниты постоянного тока во первых снаружи, а не внутри трубопровода; во вторых четко соблюдать полярность, то есть северный полюс магнита должен быть расположен ближе к водному потоку; в третьих располагать магниты на расстоянии друг от друга от 4мм до 9 мм в зависимости от плотности магнитного потока устанавливаемого магнита. То есть нужно учитывать линии распределения магнитного поля, которые не должны пересекаться с магнитом расположенным рядом.

Так же в научной лаборатории было проведено определенное количество опытов по водоподготовке воды и нагреву с использованием электромагнитных полей, которые создавались при помощи ферромагнитного магнитопровода с проводниковой катушкой, по которой пропускался ток переменной и постоянной частоты (рисунок 4б). Полученные результаты позволили сделать следующие выводы: жесткость воды уменьшалась больше при пропускании по обмотки постоянного тока со следующими параметрами: $I=9-12\text{ A}$; $U=47-71\text{ В}$; $H=0,7-0,85\text{ мкТл}$. Жесткость воды при этих данных уменьшилась в среднем на 0,64 %. При создании электромагнитных полей переменным

током результаты изменения жесткости воды оказались незначительными (0,52%). Результаты экспериментальных данных представлены на рисунке 5.

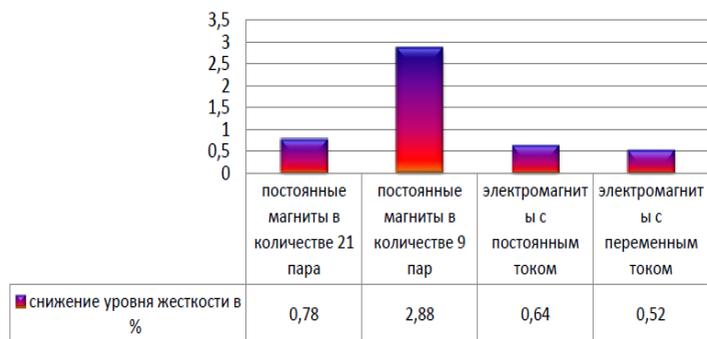


Рисунок 5 – Сравнение эффективности использования различных видов магнитов для уменьшения жесткости воды

Информация о финансировании

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №. AP19679359 «Разработка системы магнитной обработки технической воды для снижения образования накипи на поверхности нагрева теплоэнергетического оборудования»)

Выводы

При водоподготовки наиболее выгодным и что немаловажно экологичным способом является магнитное или электромагнитное воздействие на воду. Каждый из них действующий и эффективный и может быть использован в зависимости от определенных условий и предпочтений. Например, в бытовых целях на водонагревательных установках лучше использовать неодимовые магниты постоянного тока так как их стоимость относительно не велика: по данным сайта www.flagma.kz цена одного магнита размером 10x5 составляет 1092 тенге, 15 x 5 – 2816 тенге, 50 x 30- 13958 тенге (данные на февраль 2023 года).

В ТЭЦ, где количество обрабатываемой воды значительное, а стоимость выработанной электрической энергии для собственных нужд значительно дешевле, чем тариф потребителей, то в этом случае более выгоднее использовать установку с электрическими магнитами. Устройства переменного тока проще в эксплуатации, поскольку для их

питания используется сетевое питание и, кроме того, они не накапливают ферромагнитные оксиды железа, что нарушает нормальную работу устройства. Тем не менее, они требуют особенно тщательного расчета, чтобы избежать перегрева.

Следует заметить, что в промышленных условиях результаты магнитной обработки воды обычно более стабильны и выше, чем в лабораторных условиях. Это может быть связано как с иной гидродинамикой потоков, так и с обработкой больших объемов воды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Мосин, О. В., Игнатов, И. Теоретические основы магнитной обработки воды. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14996.html>
- 2 Мосин, О. В. Обладает ли вода структурой? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.o8ode.ru/article/energo/water_structure.htm
- 3 Мехтиев, А. Д., Герасименко, Т. С., Сарсикеев, Е. Ж. Результаты изменения параметров жесткости и pH-фактора водопроводной воды города Астана после воздействия на нее постоянными магнитами [Текст] // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина №4 (115) II часть. 2022 г. С. 116–124.
- 4 Мосин, О. В. Магнитные системы обработки воды. Основные перспективы и направления // Сантехника, 2011, № 1, С. 21–25.
- 5 Чеснокова, Л. Н. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем // Цветметинформация, Москва, 2011, с. 75.
- 6 Busch, K. W., Busch, M. A., Parker, D. H., Darling, R. E., McAtee, J. L. Laboratory studies involving magnetic water treatment devices. [Text] // [Physics and Materials Chemistry](#), 2013, Vol. 1 No. 2, P. 34 – 40.
- 7 Coey, J. M. D., Cass, S. Magnetic water treatment [Text] // J. Magn. Magn. Mater. 2000, 209, P. 71–74.
- 8 Ходырев, Б. Н., Кривчевцов, А. Л., Соколюк, А. А. Исследование процессов окисления органических веществ в теплоносителе ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика. 2010. С. 11–16.
- 9 Ларин, Б. М., Бушуев, Е. Н., Бушуева, Н. В. Технологическое и экологическое совершенствование водоподготовительных установок на ТЭС // Теплоэнергетика, 2010, № 8, С. 23–27.
- 10 Ахмеров, У. Ш., Ведерников, А. П., Поленов, Л. Ф. Методы индикации «магнитной воды» // Казань, Изд. Казанского университета, 2012. С. 73.
- 11 Mekhtiyev, A. D. Sarsikayev, YE. ZH. Atyaksheva, A. V. Atyaksheva, A. D. Gerassimenco, T. S. Alkina, A. D. Method of preventing deposits on

the inner surface of circulating water pipelines of fer-roalloy electric furnace cooling systems // METALURGIJA 60(2021) 3-4, pp. 321-324. (<https://hrcak.srce.hr/256098>)

12 СТ РК 1514-2006. Вода питьевая. Методы определения жесткости. [Electronic resource].—URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293739/4293739488.htm>

REFERENCES

1 **Mosin, O. V., Ignatov, I.** Teoreticheskie osnovy magnitnoj obrabotki vody [Theoretical foundations of magnetic water treatment.]. [Electronic resource].—URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14996.html>

2 **Mosin, O. V.** Obladaet li voda strukturoj? [Does water have a structure?]. Elektronnyj resurs. [Electronic resource] – URL: https://www.o8ode.ru/article/energo/water_structure.htm

3 **Mekhtiev, A. D., Gerasimenko, T. S., Sarsikeev, E. Zh.** Rezul'taty izmeneniy parametrov zhestkosti i RN – faktoravodoprovodnoj vody goroda Astana poslevozdeystviyana nee postoyannymi magnitami [Results of changes in the parameters of hardness and PH – factor of tap water in Astana after exposure to permanent magnets] // Bulletin of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University № 4 (115) II part. 2022 g. P. 116–124.

4 **Mosin, O. V.** Magnitnyye sistemy obrabotki vody. Osnovnyye perspektivy i napravleniya [Magnetic water treatment systems. Main prospects and directions] // Plumbing, 2011, № 1, P. 21–25.

5 **Chesnokova, L. N.** Voprosy teorii i praktiki magnitnoj obrabotki vody i vodnykh sistem [Questions of theory and practice of magnetic water treatment and water systems] // Tsvetmetinform, Moscow, 2011, p. 75.

6 **Busch, K. W., Busch, M. A., Parker, D. H., Darling, R. E., McAtee, J. L.** Laboratornyye issledovaniya s ispol'zovaniem ustroystv magnitnoj ochistki vody [Laboratory studies involving magnetic water treatment devices]. // [Physics and Materials Chemistry](#). 2013, Vol. 1 No. 2, P. 34–40.

7 **Coey, J. M. D., Cass, S.** Magnitnaya obrabotka vody [Magnetic water treatment] // J. Magn. Mater. 2000, 209, P. 71–74.

8 **Hodyrev, B. N., Krivchevov, A. L., Sokolyuk, A. A.** Issledovanie processov oksidatsii organicheskikh veshchestv v teplonositele TES i AES [Investigation of the processes of oxidation of organic substances in the coolant of thermal power plants and nuclear power plants] // Thermal power engineering. 2010. P. 11–16.

9 **Larin, B. M., Bushuev, E. N., Bushueva, N. V.** Tekhnologicheskoe i ekologicheskoe ispytaniye vodopodgotovitel'nykh ustanovok TES

[Technological and environmental improvement of water treatment plants at thermal power plants] // Thermal power engineering, 2010, №8, P. 23–27.

10 **Ahmerov, U. SH., Vedernikov, A. P., Polenov, L. F.** Metody indikatsii «magnitnoj vody» [Methods of «magnetic water» indication] // Kazan, Ed. Kazan University, 2012. p. 73.

11 **Mekhtiyev, A. D., Sarsikeev, Ye. Zh., Atyaksheva, A. V., Atyaksheva, A. D., Gerassimenko, T. S., Alkina, A. D.** Sposob predotvrashcheniya otlozheniya vnutrennej poverkhnosticirkulyacionny'x vodoprovodov sistem oxlazhdeniya elektricheskoy pechi [Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of fer-roalloy electric furnace cooling systems] // METALURGIJA 60(2021) 3–4, pp. 321–324. [Electronic resource]. – (<https://hrcak.srce.hr/256098>).

12 СТ РК 1514–2006. Vodapit'evaya. Metody opredeleniya zhestkosti. [Drinking water. Methods for determining stiffness]. [Electronic resource].—URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293739/4293739488.htm>

Принято к изданию 18.09.23.

*А. Д. Мехтиев¹, Т. С. Герасименко², Е. Ж. Сарсикеев³

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

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

МАГНИТТІК ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРІСТЕРДІҢ СУДЫҢКЕ РМЕКТИГІНЕ ӘСЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Өздеріңіз білетіндей, тұрмыстық және технологиялық қажеттіліктер үшін суды бірнеше рет қыздырғаннан кейін, жылыту беттерінде тұнбақалып түрінде қалады. Бұл тұнба технологиялық қажеттіліктің қызмет ету мерзіміне дәуір қысқартады және жылыту жылыту тиімділігін төмендетеді. Іс жүзінде бұл мәселені шешудің көптеген жолдары бар. Электромагниттік және магниттік әдістер судың қаттылығын төмендетудің классикалық әдістеріне жақсы балама болып табылады, өйткені олар инвазивті емес және арзан және қоршаған ортаға жағымды әсер ететін суға химиялық заттарды қосуды қажеттпейді. Бұл мақалада біз магниттік және электромагниттік өрістердің ағын судағы қаттылық тұндарына әсер ету процесстерін түсінуге тырысамыз және суды жұмсартуға және оны қыздыру процесінде қатты азайтуға арналған электромагниттік қондырғының параметрлерін негіздейміз. Алдын ала жүргізілген зерттеулер судың қасиеттерін өзгерту және

оны тазарту үшін электро магнитті көрісті қолдануға байланысты жобаның негізгі идеясы мен гипотезасын қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Эксперименттік зерттеулер КАТИУ ғылыми зертханасында электр желісінің параметрлері әртүрлі өзгерген кезде суды тұрақты және ауыспалы магнит өрісі мен оңдеуге арналған арнайы қондырғыларда жүргізілді.

Кілтті сөздер: электромагниттік тазарту, магниттік тазарту, масштабтау, судың кермектігі, суды оңдеу.

*D. Mekhtiev¹, T. S. Gerasimenko², E. Zh. Sarsikeev³

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

Republic of Kazakhstan, Astana

Accepted for publication on 18.09.23

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS ON WATER HARDNESS

As is known, after repeated heating of water for domestic and technological needs, a precipitate in the form of scale remains on the heating surfaces. This sludge significantly reduces the service life of technological equipment and reduces the efficiency of thermal heating. In practice, there are many ways to eliminate this problem. Electromagnetic and magnetic methods are a good alternative to classical methods of reducing water hardness, since they are non-invasive and cheap, and do not require the addition of chemicals to the water, which has a beneficial effect on the environment. In this article, we will try to understand the processes of the influence of magnetic and electromagnetic fields on hardness salts contained in tap water and justify the parameters of an electromagnetic installation designed to soften water and reduce scale during its heating. The conducted preliminary studies allowed us to form the main idea and hypothesis of the project related to the use of an electromagnetic field to change the properties of water and its purification.

Experimental studies were carried out in the scientific laboratory of KATI on special installations designed for the treatment of water with a constant and alternating magnetic field at various changes in the parameters of the electrical network.

Keywords: electromagnetic cleaning, magnetic cleaning, scale, water hardness, water treatment.

FTAMP 20.15.31

<https://doi.org/10.48081/QSWV9292>

***А. Б. Мименбаева¹, А. Х. Нұрбекова²,
Г. К. Бекмағанбетова³, Н. Н. Никамбаева⁴,
Г. Н. Турсынғалиева⁵**

^{1,2}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ;

³Қазақ технология және бизнес университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ;

^{4,5}Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

e-mail: Aigulka79_79@mail.ru

STATISTICA ЖҮЙЕСІНДЕ DAҚЫЛДАРДЫҢ ӨНІМДІЛІГІН БОЛЖАУ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ

Мақалада ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін болжауға арналған модельдері мен әдістері қарастырылған. Зерттеу барысында осы бағыттағы соңғы жылдардағы Web of Science, Scopus деректер қорындағы отандық және шетел ғылыми еңбектер зерделенген. Сонымен қатар, 2012-2022 жылдар аралығындағы «Солтүстік Қазақстан ауыл-шаруашылығы тәжірибелік станциясы» ЖШС-інде өсірілетін жаздық бидайдың өнімділігі мысалында Statistica жүйесін қолданып, болжау әдістеріне тоқталған. Қарастырылған жылдардағы жаздық бидай өнімділігінің экономикалық-математикалық моделі дәрежелік функция түрінде құрылған. Корреляциялық талдау әдісі арқылы осы жылдардағы вегетациялық кезеңдегі ауа температурасы мен жаздық бидай өнімділігінің арасындағы байланыс зерттеліп, нақты және болжамдық мәндер шашыранды диаграмма арқылы көрсетілген. Жасанды перцептрон нейрондық желісі арқылы болжамдық моделдер құрылып, ең жақсы нәтиже беретін болжамдау моделі таңдалып алынған.

Сонымен қатар, қарастырылған экономикалық-математикалық талдау, сараптау, статистикалық талдау және жасанды нейрондық әдістеріне терең тоқталып, нәтижесінде әр әдіске байланысты нақты тұжырымдар ұсынылған.

Мақала авторлардың осы бағытта соңғы жылдары жүргізіліп жатқан ғылыми зерттеу жұмыстарының жалғасы болып табылады және аталған серіктестіктің ғылыми-зерттеу бөлімінің қызметкерлеріне, осы салада зерттеу жүргізетін мамандарға, докторанттарға бағыт беруге көмектеседі.

Кілтті сөздер. Астық өнімділігі, математикалық модель, жасанды нейрондық желі, болжау әдістері, статистикалық болжау

Кіріспе

Ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділік болжамдары әртүрлі мүдделі тараптар үшін маңызды ақпарат көзі болып табылады. Қазіргі уақытта болжау әдістерінің бірнеше түрі болғанымен, олардың жалпы қабылданған нақты жіктелуі және негізгі әдістердің мазмұнын анықтауда бірыңғай пікір жоқ. Осы орайда, бұл зерттеудің мақсаты ауылшаруашылығы дақылдарының шығымын болжауға арналған әдістерге шолу жасау және жүйелеу ретінде айқындалды. Зерттеу барысында, отандық және шетел басылымдарына шолу жасай отырып, ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін болжау әдістері төмендегі кластарға жіктелді (1 кесте):



Сурет 2 – Ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін болжау әдістерінің жіктелуі

Материалдар мен әдістер

Аталған бағытта шолу жүргізу үшін, «Солтүстік Қазақстан ауылшаруашылығы тәжірибелік станциясы (АШТС)» ЖШС-нің 2013-2023 жж. аралығындағы температура, жаздық бидай өнімділігі жайлы деректері «Шағалалы» метеостанциясынан және аталған серіктестіктің ғылым бөлімінен алынды. Statistica жүйесінде математикалық модельдеу, регрессия,

жасанды нейрондық желі әдістері арқылы зерттеулер жасалып, талдау және салыстыру әдістері қолданылды.

Кесте 1 – «Солтүстік Қазақстан ауылшаруашылығы тәжірибелік станциясы» ЖШС-нің 2013-2023 жж. арасындағы жаздық бидай өнімділігі

№	Ауыл шаруашылығы жылдары	$C_{\text{North-Kaz}}$, ц/га	T_v , °C
1	2012-2013	18,0	18
2	2013-2014	17	18
3	2014-2015	18	18,5
4	2015-2016	18	19,3
5	2016-2017	16,1	19,2
6	2017-2018	17	18,2
7	2018-2019	17,2	18,1
8	2019-2020	16,1	19,1
9	2020-2021	20,1	19,5
10	2021-2022	20,2	19,3

Әдеби шолу

Зерттеу барысында ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін болжау бағытында отандық және шетелдік басылымдарға шолу жасалды. Атап айтқанда: М. А. Саденова, Н.А. Бейсекенова және т.с.с. авторлардың [1] еңбегінде Қазақстанның агроэкожүйелерінің дақыл-дарын қашықтықтан зерттеу арқылы математикалық модельді қолданып, салыстырмалы талдау және тарихи аналогтар жасау арқылы дақылдардың өнімділік көрсеткішін анықтаған. В. Basso, D. Sammarano және E. Carfagna авторлары [2] еңбегінде өнімділікті болжау және әлем бойынша ауылшаруашылық стратегиясын жақсарту мәселелері қарастырылған. Бұл мақалада статистикалық модельдер қолдануға жеңіл және параметрді аз қажет ететіні, алайда олар берілген мәндер ауқымынан тыс ақпаратпен шектелетіні тұжырымдалған. [3] мақалада 2018 жылдан бері жарыққа шыққан Web of Science деректер қорында жарық көрген 250-ден астам еңбектер талқыланды. Барлық қарастырылған еңбектердің ішінде агрометеорологиялық болжаулар 3-тен бір бөлігінде, процеске негізделген модельдер 15%-інде кездескен. [4], [5] жұмыстарда дәнді дақылдар өнімділігіне жасанды нейрондық желілер арқылы болжау жасалған.

Математикалық модельдеу және болжамдық экстрополяция әдістері

Бұл әдіс ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділіктеріне әсер ететін факторларының уақыт бойынша қатарларының заңдылықтарын модельдеуге және математикалық статистика аппараты негізінде зерттелетін экономикалық процестердің даму тенденцияларын анықтауға негізделген [6].



Сурет 3 – Математикалық модель құру процесі

Уақыт қатарларларын экстраполяциялау барысында зерттелетін көрсеткіштердің уақыт бойынша өзгеруі кейбір аналитикалық функция түрінде модельденеді [6]. Уақыт бойынша тренд экстраполяциясына негізделген болжау кезеңдері төмендегі кестеде келтірілген:



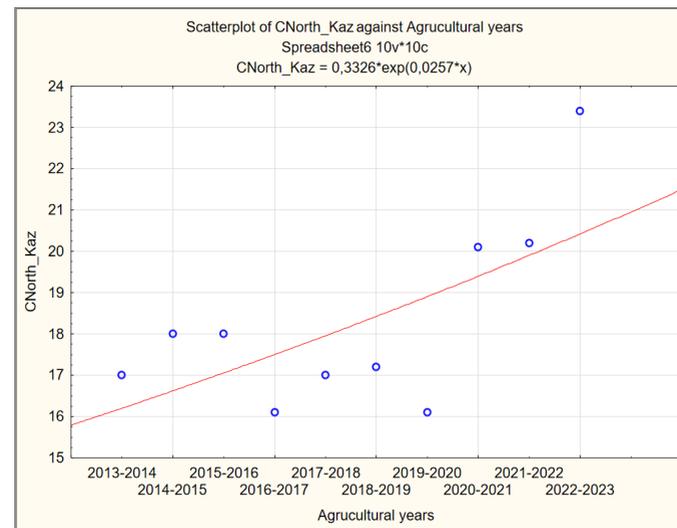
Сурет 4 – Экстраполяцияға негізделген болжау кезеңдері

Тәжірибелік бекіту

$X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ айнымалысын өнімділікке әсер ететін кез-келген (агрометеорологиялық, техникалық, т.б.) фактор болсын. Онда $C_{NorthKaz}$ «Солтүстік Қазақстан АШТС» ЖШС-нің 2013-2023 жж. арасындағы жаздық бидай өнімділігінің математикалық моделін дәрежелік функция арқылы төмендегідей өрнектеуге болады:

$$C_{North_Kaz_i} = 0,33 * e^{0,0257X_i} \quad (2)$$

мұндағы $i = (1, \dots, 10)$. Осы функция арқылы аталған дақыл өнімділігінің шашыранды диаграммасы Statistica жүйесінде құрылды:



Сурет 5 – «Солтүстік Қазақстан АТС» ЖШС-нің 2013-2023 жж. жаздық бидай өнімділігінің шашыраңқы диаграммасы

Экономика-математикалық модельдеу әдістері

Экономикалық - математикалық модельдеу әдістері статистикалық материалды ескере отырып жасалатын классикалық математикалық модельдеудің аналитикалық аппаратына негізделген. Мұндай модельдер дақыл өнімділігіне маңызды факторлардың әсерін сипаттайтын аналитикалық теңдеулермен сипатталады [7].

Дәстүрлі математикалық-статистикалық талдау әдістері жоғарыдағы суретте көрсетілген негізгі 6 негізгі топтарға бөлінеді (6-сурет).



Сурет 6 – Математикалық статистикалық талдау әдістері

Аталған статистикалық болжау әдістерінің ішінде кең таралған корреляциялық және регрессиялық талдау әдістеріне тоқталайық.

Корреляциялық талдау – бұл бірнеше тәуелсіз айнымалылар арасында байланыс орнатуға, сондай-ақ осы айнымалылар арасындағы байланыстың күшін бағалауға мүмкіндік беретін статистикалық құрал. Егер X және Y айнымалыларының мәндері берілетін болса, онда осы екі айнымалылардың арасындағы байланыс төмендегі формула арқылы берілетін корреляциялық коэффициент арқылы сипатталады:

$$R_{X,Y} = \frac{\sum (X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{n \cdot \sigma_X \cdot \sigma_Y} = \frac{\bar{X} \cdot \bar{Y} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \quad (3)$$

мұндағы n-бақылаулар саны, σ_X , σ_Y сәйкес квадраттық ауытқулар. Корреляция коэффициенті -1-ден +1-ге дейінгі аралықтағы мәндерді қабылдайды. Егер $R < 0,3$ жағдайында, онда байланыс әлсіз, $|R| \leq 0,7$ - орташа; $|R| > 0,70$ – тығыз болып саналады.

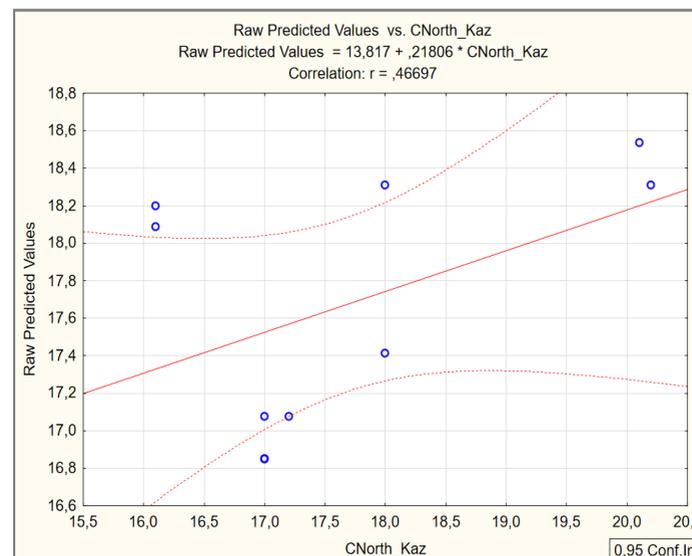
Тәжірибелік бекіту

Төмендегі кестеде 2012-2022 жылдар арасындағы «Солтүстік Қазақстан АТС» ЖШС-нің вегетациялық кезеңдегі ауа температурасына байланысты жаздық бидай өнімділігіне жасалған статистикалық талдау нәтижесі көрсетілген.

Кесте 3 – Жаздық бидай өнімділігі мен ауа-райы температурасына жасалған Statistica жүйесінде регрессиялық талдау нәтижесі

N=10	CNorthKaz (2012-2022) R= 0,46696988, R2= 0,21806087, F(1,8)=2,2310					
Intercept	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(8)	p-value
			-3,38912	14,10574	-0,240265	0,816167
Tv	0,466970	0,312638	1,12435	0,75276	1,493645	0,173621

Бұл кестедегі $C_{Northkaz}$ – жаздық бидай өнімділігі, Tv – вегетациялық кезеңдегі ауа температурасы, R - корреляция коэффициенті, R^2 - детерминация коэффициенті, b және b^* – стандарттық ауытқулар, p – маңыздылық шамасы. (3) теңдеуге сүйеніп жасалған есептеулер нәтижесінде $R = 0,46696988 < 0,7$ екенін байқаймыз. Демек, қарастырылған жылдар арасында «Солтүстік Қазақстан ауылшаруашылығы ТЖС» ЖШС-ның жаздық бидай өнімділігі вегетациялық кезеңдегі ауа температурасынан басқа да факторларға көбірек тәуелді екені анықталды.



Сурет 7 – Жаздық бидайдың нақты және болжамды мәндерінің диаграммасы

Әрі қарай

$$C_{North_Kaz}^{Pred} = 13,817 + 0,21806 \cdot C_{North_Kaz} \quad (4)$$

болжау моделі құрылып, жаздық бидай өнімділігінің нақты және болжамдық мәндерінің шашыранды диаграммасы алынды.

Сараптамалық бағалау әдістері

Бұл әдіс бойынша болжау кәсіби, практикалық және ғылыми тәжірибеге негізделген бір маманның немесе мамандар тобының пікіріне негізделіп жасалады [5, 6]. Сараптамалық бағалау әдістері төмендегідей жіктеледі:



Сурет 8 – Сараптамалық бағалау әдістері

Сараптамалық әдістер негізінен келесі жағдайларда қолданылады:

- 1) объект немесе экономикалық құбылыс математикалық сипат-тамаға бағынбаған кезде;
- 2) ресімделген әдістер аппаратын пайдалануға мүмкіндік беретін ақпараттық база болмаса;
- 3) тез шешім қабылдауды талап ететін төтенше жағдайларда;
- 4) ресімделген зерттеулер жүргізу үшін қаржы ресурстары, бағдарламалық қамтамасыз ету, білікті кадрлар болмаған жағдайда [8].

Нейрондық желі әдістері

Нейрондық желілер (Neural Networks) – бұл мидың биологиялық нейрондық желілерінің жасанды нейрон модельдері болып табылады [7]. Әр қабатта орналасқан нейрондар бір-бірімен ешқандай байланыссыз, алайда алдыңғы және келесі қабаттардағы нейрондармен байланысты болады. Астық өндірісінде өнімділікке алдын-ала нейрондық желі арқылы болжам жасау төмендегі алгоритм бойынша жүзеге асады.



Сурет 9 – Ауылшаруашылығы дақылының өнімділігін болжауда жасанды нейрондық желі қолдану алгоритмі

Нейрондар желісінің жұмысын келесі тендеумен сипаттауға болады:

$$Net_j = \sum x_i * w_{ij}, \quad (5)$$

мұндағы Net_j айнымалысы j -ші нейрон үшін барлық кіріс сигналдарын біріктірудің нәтижесі, n -шығыс сигналдарын сигнал кірісіне жіберетін элементтер саны, w_{ij} – i -ші нейронды j -ші нейронмен байланыстыратын байланыстың салмағы болып табылады [7, 8].

Тәжірибелік бекіту

«Солтүстік Қазақстан АШТС» ЖШС-нің 2013-2023 жж. арасындағы жаздық бидай өнімділігін болжауға Statistica жүйесінде жасанды нейрондық желілерін құрайық. Вегетациялық кезеңдегі T_v – ауа температурасы алынды, шығыс айнымалысы ретінде C_{North_Kaz} жаздық бидай өнімділігі алынды. Желі түрі – көпқабатты перцептрон, оқытылатын желі саны – 20, сақталатын нейрон саны – 5, минималды жасырын нейрондар саны – 3, максималды жасырын нейрондар саны – 10 болып тағайындалды.

Кесте 3 – «Солтүстік Қазақстан АТС» ЖШС-нің 2013-2023 жж. арасындағы жаздық бидай өнімділігін болжауға жасанды нейрондық желілері

№	Желі атауы	Оқыту нәтижесі	Оқыту қатесі	Тест қатесі	Тексеру қатесі	Оқыту алгоритмі
1	MLP 1-2-1	0,383160	0,110974	0,217109	0,064423	BFGS 5
2	MLP 1-4-1	0,750502	0,054373	0,005004	0,080018	BFGS 51
3	MLP 1-7-1	0,381874	0,111071	0,217486	0,064629	BFGS 0
4	MLP 1-8-1	0,543691	0,094172	0,025511	0,002747	BFGS 12
5	MLP 1-3-1	0,546316	0,091483	0,059628	0,001028	BFGS 0

Нәтижесінде минималды қателікпен MLP-1-4-1 желісі максималды 0,75 оқыту нәтижесіне ие болды. Осы нейрондық желіні әрі қарай жетілдіріп,

жаздық бидайдың болашақтағы бірнеше егін маусымдарына болжам жасауға болады.

Қорытынды

Ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін дәл болжау өнімділік пен факторлар арасындағы функционалдық байланысты түбегейлі түсінуді және қуатты алгоритмдер мен оңтайлы әдістерді қажет етеді.

Бұл Мақалада ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін болжау әдістеріне шолу жасалып, Statistica жүйесін пайдаланып, «Солтүстік Қазақстан АШТС» ЖШС-нің мәліметтері бойынша, жаздық бидай өнімділігі зерттелді. Зерттеу барысында келесі тұжырымдамалар жасалды:

Ауылшаруашылығы дақылдарының өнімділігін болжау әдісін таңдау қарастырылатын дақылдың түріне байланысты болады.

Дәнді дақылдардың өнімділігін қысқа мерзімді болжауды сызықтық регрессия модельдері бойынша, ал орта мерзімді және ұзақ мерзімді болжау сараптамалық болжамдар негізінде жасау тиімді болады.

Нейрожелілік модель әдісі көбінесе қысқа және орта мерзімді болжам жасауға қолданылады.

Ұзақ мерзімді болжамды жүзеге асыру кезінде зерттелетін аймақтағы астық түрінің орташа көпжылдық өнімділігі мен жеміс беру заңдылықтары қолданылады, сондықтан болжаудың бұл түрі ауылшаруашылығында көп таралмаған.

Статистикалық модельдер қолдануға қарапайым болғанымен, тыңайтқыштың уақыты мен мөлшері, дақылды себу, суару уақыттарын бақылау тәрізді агротехникалық кеңестерді қамти алмайды.

Астық өнімділігін модельдеу егіншілік жүйесін басқаруда, қорларды қалыптастыруда, коммерцияландыруда және ауылшаруашылық қызметінің басқа салаларында кеңінен қолданылатындықтан, мақалада талданған мәселе аталған сала мамандары және зерттеушілер үшін пайдалы болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Sadenova, M. A., Beisekenova, N. A., Rakhymberdina M., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J. Mathematical Modelling in Crop Production to Predict Crop Yield // Chemical engineering transactions. – 2021. – V. 88. – P. 1225–1228.

2 Basso, B., Cammarano, D., Carfagna, E. [Review of crop yield forecasting methods and early warning systems](#) // In Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics (Rome, 13 august 2013).

3 Basso, B., Liu, I. Seasonal crop yield forecast Methods, applications, and accuracies // Advances in Agronomy. – 2019. – V. 154. – P. 201–255.

4 Alvarez, R. Predicting average regional yield and production of wheat in the argentine pampas by an artificial neural network approach // European Journal of Agronomy. – 2009. – № 30. – P. 70–77.

5 Ayoubi, S., Sahrawat, K.L. Comparing multivariate regression and artificial neural network to predict barley production from soil characteristics in northern Iran // Archives on Agronomy and Soil Science. – 2011. – №57. – С. 549–565.

6 Tokarev, K. E., Rogachev, A. F., Pleschenko T. V., Rudenko A. Y., Kuzmin, V. A. Economic and mathematical modelling of regional market of grain crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. (Kurgan, 18–19 April 2019).

7 Sadenova, M. A., Beisekenova, N. A., Rakhymberdina M., Varbanov P. S., Klemeš J. J. Mathematical Modelling in Crop Production to Predict Crop Yields. Chemical engineering transactions. – 2021. – V. 88. –P. 1225–1231.

8 Звягин Л. С. Применение системно-аналитических методов в области экспертного прогнозирования // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2017. – № 6. – С. 145–148.

9 Meroni, M., Waldner, F., Seguíni, L., Kerdiles, H., Rembold, F. Yield forecasting with machine learning and small data: What gains for grains? Agricultural and Forest Meteorology. – 2021. – V. 308–309.

10 Khaki, S., Wang, L. Crop Yield Prediction Using Deep Neural Networks // Frontiers in Plant Science. – 2019. –V. 10.

REFERENCES

1 Sadenova, M. A., Beisekenova, N. A., Rakhymberdina M., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J. Mathematical Modelling in Crop Production to Predict Crop Yield // Chemical engineering transactions. – 2021. – V. 88. – P. 1225–1228.

2 Basso, B., Cammarano, D., Carfagna, E. [Review of crop yield forecasting methods and early warning systems](#) // In Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics (Rome, 13 august 2013).

3 Basso, B., Liu, I. Seasonal crop yield forecast Methods, applications, and accuracies // Advances in Agronomy. – 2019. – V. 154. – P. 201–255.

4 Alvarez, R. Predicting average regional yield and production of wheat in the argentine pampas by an artificial neural network approach // European Journal of Agronomy. – 2009. – № 30. –P. 70–77.

5 Ayoubi, S., Sahrawat, K. L. Comparing multivariate regression and artificial neural network to predict barley production from soil characteristics in

northern Iran // Archives on Agronomy and Soil Science. – 2011. – № 57. – P. 549–565.

6 Tokarev, K. E., Rogachev, A. F., Pleschenko T. V., Rudenko A. Y., Kuzmin, V. A. Economic and mathematical modelling of regional market of grain crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. (Kurgan, 18–19 April 2019).

7 Sadenova, M. A., Beisekenova, N. A., Rakhymberdina M., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J. Mathematical Modelling in Crop Production to Predict Crop Yields. Chemical engineering transactions. – 2021. – V. 88. – P. 1225–1231.

8 Zvyagin L.S. Primenenie sistemno-analiticheskikh metodov v oblasti e'kspertnogo prognozirovaniya [Application of system-analytical methods in the field of expert forecasting] E'konomika i upravlenie: problemy', resheniya. – 2017. – № 6. – P. 145–148.

9 Meroni, M., Waldner, F., Seguini, L., Kerdiles, H., Rembold, F. Yield forecasting with machine learning and small data: What gains for grains? Agricultural and Forest Meteorology. – 2021. – V. 308–309.

10 Khaki, S., Wang, L. Crop Yield Prediction Using Deep Neural Networks // Frontiers in Plant Science. – 2019. – V. 10.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

*А. Б. Мименбаева¹, А. Х. Нурбекова², Г. К. Бекмаганбетова³,
Н. Н. Никамбаева⁴, Г. Н. Турсынғалиева⁵

^{1,2}Қазақхский сельскохозйственный исследовательский университет имени К. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

³Қазақхский университет технологий и бизнеса, Республика Казахстан, г. Астана;

^{4,5}Қарағандинский университет имени академика Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Қарағанда.

Принято к изданию 18.09.23.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ В СИСТЕМЕ STATISTICA

В статье рассмотрены модели и методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. В ходе исследования были изучены отечественные и зарубежные научные работы опубликованные за последние годы в базе данных Web of Science, Scopus. Кроме того, рассмотрены методы прогнозирования основанные на статистическом анализе и нейронных сетей на примере

урожайности яровой пшеницы выращиваемой в ТОО «Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции» с 2012 по 2022 годы в системе Statistica. Экономико-математическая модель урожайности яровой пшеницы построена в виде степенной функции. С помощью метода корреляционного анализа была исследована взаимосвязь между температурой воздуха и урожайностью яровой пшеницы в течение вегетационного периода и продемонстрированы фактические и прогнозные значения на диаграмме рассеяния. С помощью искусственной нейронной сети перцептрона были созданы прогностические модели, из которых была выбрана наилучшая модель прогнозирования.

Также рассмотрены экономико-математические методы, статистический анализ и метод искусственных нейронных сетей.

Статья является продолжением научно-исследовательской работы авторов в данном направлении, проводимой в последние годы и может быть полезна для сотрудников научно-исследовательского отдела данной СХОС и для докторантов, а также для специалистов, проводящих исследования в данной области.

Ключевые слова. Урожайность зерна, математическая модель, искусственная нейронная сеть, методы прогнозирования, статистическое прогнозирование

*А. Б. Мименбаева¹, А. Х. Нурбекова², Г. К. Бекмаганбетова³,
Н. Н. Никамбаева⁴, Г. Н. Турсынғалиева⁵

^{1,2}S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan, Astana

³Kazakh University of Technology and Business, Republic of Kazakhstan, Astana

^{4,5}Karaganda Buketov University, Republic of Kazakhstan, Karaganda

Accepted for publication on 18.09.23

DEVELOPMENT OF MODELS FOR PREDICTION OF YIELD OF CROPS IN STATISTICA SYSTEM

The article discusses models and methods of forecasting crop yields. In the course of the study domestic and foreign scientific papers published in recent years in the database Web of Science, Scopus. In addition, the methods of forecasting based on statistical analysis and neural networks on the example of spring wheat growing in the «North Kazakhstan

Agricultural Research Station» LLP from 2012 to 2022 years were studied. The economic-mathematical model of spring wheat yield is built in the form of a power function. Using the method of correlation analysis, the relationship between air temperature and yield of spring wheat during the growing season was investigated and actual and predicted values were shown on the scatter diagram. Predictive models were created with the help of perceptron artificial neural network, from which the best predictive model was selected.

Economic and mathematical methods, statistical analysis and artificial neural network method were also considered. The article is a continuation of the authors' research work in this direction carried out in recent years and may be useful for the staff of the research department of this ARS and for doctoral students, as well as for specialists conducting research in this area.

Keywords. Grain yield, mathematical model, artificial neural network, forecasting methods, statistical forecasting

SRSTI 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/YVNV9748>

***A. V. Neftissov¹, I. M. Kazambayev², L. N. Kirichenko³,
K. M. Zhakupova⁴, D. B. Urazayev⁵**

^{1,2,3,4,5}Astana IT University, Kazakhstan, Astana

e-mail: alexandr.neftissov@astanait.edu.kz

AN INTERACTION MODEL OF RELAY PROTECTION MEASURING TRANSDUCERS WITH COMPUTING SYSTEMS VIA IIOT TECHNOLOGY

The object of this research is the interaction model between measuring transducers and computing systems, particularly focusing on its application within the framework of Industrial Internet of Things (IIoT) and Cloud technologies. The imperative driving this study is the increasing demand for precise and efficient data acquisition, protection and processing in various industrial sectors. The research aims to address this need by elucidating an interaction model that optimizes measuring computing systems through IIoT and Cloud technologies. As a result of our research, a comprehensive interaction model that encompasses the entire data flow process was established. This model integrates data acquisition, analytics, real-time communication protocols, and secure data transmission methodologies. It offers a structured framework for acquiring, transmitting, and analyzing data with high accuracy and efficiency. The significance of our results lies in their capacity to resolve critical challenges in data acquisition and processing of the electrical power data, as well as monitoring and protection against electrical faults. These results hold practical value under diverse industrial conditions, including manufacturing, energy production and energy distribution.

Keywords: relay protection, open architecture, encryption, data processing, data visualization, internet of things

Introduction

Currently, the market is saturated with relay protection systems made by numerous manufacturers, and enterprise companies are the majority of the demand for such devices since the safety and continuity of the operations at these enterprises are bound by standards.

Systems that already exist on the market create complications during the installation and maintenance due to proprietary connections and a lack of wireless communication capabilities as a primary source of data exchange between the elements. In other words, each unit is localized to a certain segment of the power grid and is taking action in an ad-hoc manner without sharing information with neighboring units. The proprietary nature of connectors and technology used to manufacture such relay protection leads to hardships during part replacement and scaling of the protected electrical grid. In this research, an open architecture model for industrial relay protection with the usage of the modern Industrial IoT (IIoT) technology will be developed and evaluated in terms of an increase in the speed of operation, robustness, and improvement of selectiveness.

The aim of this study is to propose a model for a relay protection system which uses the IIoT and Cloud technologies and to evaluate it. Specifically, cloud computing enables real-time data analysis and sharing among all components of the protection system, fostering a collaborative and adaptive approach to grid protection. Additionally, cloud-based solutions facilitate remote monitoring, maintenance, and scalability, ensuring that relay protection systems can evolve and expand in tandem with the dynamic requirements of modern industrial environments.

Literature review

Power supply reliability is a major concern in a state where reliance on electricity and data has become a crucial part of economics, science, and general well-being. According to Chernobrovov, traditional relay protection systems and smart protection systems, by extension, can be functionally compared in terms of selectiveness, speed of operation, sensitivity, and robustness [1]. These qualities ensure that the relay protection is able to successfully prevent accidents and malfunctions, especially in manufacturing and supplying establishments, as well as achieve stability of power supply systems. Attempts were made by engineers to incorporate IT technologies into power systems to increase reliability and feedback, which resulted in the emergence of a smart grid concept. Since reliability is a major concern of the smart grid, relay protection systems are adapting as well to new technologies. In recent years, the Internet of Things (IoT), defined by Ashton in 1998 [2], has started to be used in industrial and power delivery applications, which inevitably was used in the creation of models for modern-day relay protection systems.

Recent developments in relay protection engineering are concluded in the work of Zhang et al. [3], such as the usage of transient AC and DC characteristics and the ultra-high speed protection principle to aid the progression of the smart grid. A distributed relay protection system for a smart grid was proposed by Kauhaniemi and Voima in 2012 [4]. By using an assortment of intelligent electronic devices

(IED), authors described a zone-divided approach to the power grid protection, where each zone is being measured and reported by a separate IED, which is in turn connected to the main intelligence system via a router or a switch.

In the context of relay protection systems, the selection of an appropriate cloud server type plays a pivotal role in optimizing performance and cost-effectiveness. A cost analysis demonstrates the substantial cost advantage of PC-based clusters over their multiprocessor counterparts. While the multiprocessor server may be approximately three times more expensive, it offers significantly fewer CPUs, about 22 times less RAM, and slightly more disk space [5]. This cost disparity underscores the potential cost savings that can be achieved by embracing cloud computing infrastructure that relies on PC-based clusters. The benchmarks used in the study of C. Kotas et al. are the HPC Challenge (HPC) and the High-Performance Conjugate Gradient (HPCG) [6]. These benchmarks test various aspects of computer system performance, including computational speed, memory bandwidth, and network bandwidth. These benchmarks evaluate the performance of AWS and Microsoft Azure cloud platforms for high-performance computing applications that utilize the message-passing interface (MPI) library for communication.

In the realm of relay protection systems with IIoT integration, fault resilience is of paramount importance. Parallel processing, enabled by cloud computing, enhances fault resilience through data replication in the cloud.

Materials and Methods

For smart grid management, ESP-32's relevance is heightened on its advantages in open-source development and cost-efficiency, consolidating the CPU and WiFi/Bluetooth module for production efficiency. Within the domain of relay protection systems ESP-NOW, a connectionless IoT protocol, excels in short packet transmissions and power conservation. After the initiation of power, radio transmission of the packet reaches 20 ms at maximum, including retransmissions of the lost packets. It also supports AES-128 encryption by default, which is known for its computational efficiency and resilience against most conventional attacks [7]. In the smart grid context, efficient management and real-time extraction of insights from this dynamic time-series data are essential [8]. Big Data, as defined by De Mauro et al. signifies information with substantial volume, high velocity, and diverse variety, necessitating specialized technologies for insights extraction [9]. Thus, for smart grid management, the Bokeh Python library shines, offering interactive scalability, web-based support, and real-time data monitoring, surpassing Matplotlib for relay protection systems, enhancing dynamic analysis and decision-making [10].

Results and Discussion

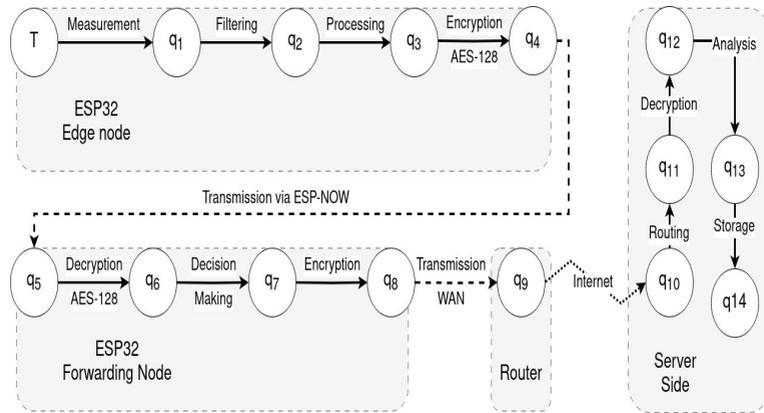


Fig 1. The proposed relay protection system model.

Time complexity of the AES-128 on the link between (q4) and (q5) can be considered as $O(n)$ if the size of the block exceeds 128 bits [11].

$$2O(n) + en_tr_time \tag{1}$$

The size of a common ESP-NOW with an empty payload is 36 bytes, which already satisfies the $O(n)$ requirements of the AES-128 encryption algorithm. This makes the time complexity of the data transfer between the edge and forwarding nodes equal to the value presented on the Equation 1.

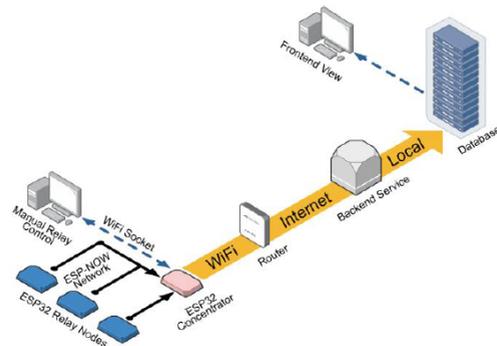


Fig 2. Overview of the proposed model.

As it was mentioned earlier, transmission time for the ESP-NOW packet can be as low as 1 ms, with a maximum of 20 ms if packets were to be retransmitted. Thus, latency from data acquisition until it will be accepted by the forwarding node is close to negligible.

For the WAN transmission from the forwarding node to the server, AES-256 encryption algorithm has been chosen. A study conducted by Singh in 2013 shows that the AES group of the symmetric encryption algorithms is faster and more secure in comparison with the asymmetric RSA algorithm, along with the DES and 3DES [12].

Since the AES-256 works with the same encryption method as the AES-128, we can also consider the complexity to be $O(n)$, albeit since the length of the block is 256 bits, it takes longer time to encrypt and decrypt. It is plausible to ignore the decryption costs from the server side because computation power is marginally higher than that of a microcontroller. With these considerations, the complexity of the data transmission to the server from the forwarding node is:

$$O(n) + wan_tr_time + internet_tr_time \tag{2}$$

Where $O(n)$ is the time required to encrypt the packet, ‘wan_tr_time’ is the time required to reach the router via WAN, and ‘internet_tr_time’ is the time needed for the packet to be perceived by the server.

Considering all the operations throughout the whole process of encryption mathematically it can be described as:

$$\begin{cases} b'_i = (b_i \oplus b_{(i+4) \bmod 8} \oplus b_{(i+5) \bmod 8} \oplus b_{(i+6) \bmod 8} \oplus b_{(i+7) \bmod 8} \oplus c_i \mid b_i \in B); \\ c_i = 01100011_2; \\ m'_i = b'_0x^0 + b'_1x^1 + b'_2x^2 + b'_3x^3 + b'_4x^4 + b'_5x^5 + b'_6x^6 + b'_7x^7, \end{cases} \tag{3}$$

where b'_i – is encrypted byte, b_i – is byte and c_i – constant and m_i is mathematical description of the encrypted symbol.

$$\begin{pmatrix} b'_0 \\ b'_1 \\ \dots \\ b'_7 \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_7 \end{pmatrix} + c_i \quad (4)$$

where A – is the matrix of bits for every byte.

Fig 3. Demonstrates the behavior of the model and shows the relationship between time and three different signals: ADC and Encryption, Output relay, and Blocking signal. The x-axis is time in milliseconds and the y-axis is the signal value.

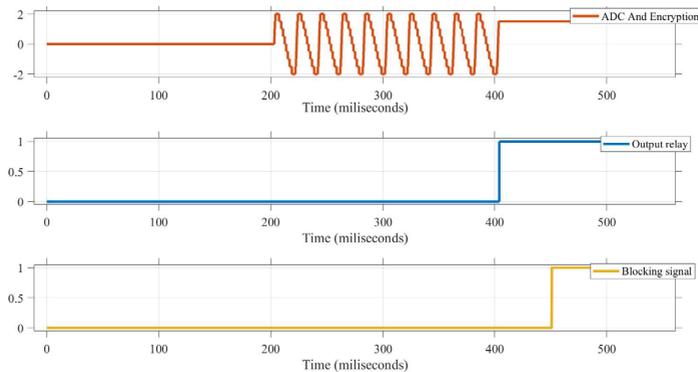


Fig 3 – Simulated signals.

The first graph is an orange line representing ADC and Encryption activity. Output and Blocking are responsible for the state of the relay at the end of the data filtration, processing and decision making operation of the model. The Matlab model of a control system is shown on Fig.4.

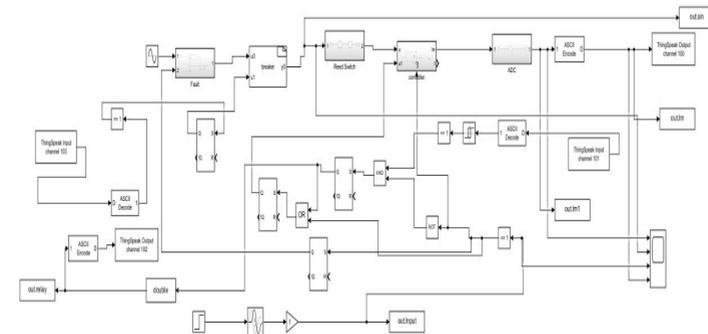


Fig 4 – Model design in MatLab.

The model is used to simulate and analyze the behavior of the proposed relay protection system. Three main inputs are designated: «Plant», «Reference», and «Disturbance». The model has two outputs: «Output» and «Control», which describe the state of the certain node, which enforce the state upon a remote relay node the data is originating from. The output data then can be stored and analyzed on one of the cloud services. Resultant formula of the interaction can be described on Eq. 3 as:

$$data_acq + 3O(n) + wan_tr_time + internet_tr_time \quad (5)$$

where «data_acq» is time required for current measurements, filtration and processing and other components are derived from the Eq. 1 and Eq. 2 in a summative manner. This applies for each tick of any of the relay nodes.

On the other hand, the mathematical description of the wave modulation

$$u_{am}(t) = U_c \left[1 + m \frac{u_m(t)}{|u_m(t)|_{max}} \right] \cos(\omega_c t), \quad (6)$$

where m – modulation constant, U_c – carrier wave voltage amplitude, ω_c – carrier wave cyclic frequency.

Options of cloud providers in Kazakhstan

The top three notable cloud providers operating in Kazakhstan are as follows: their strengths, offerings, and unique attributes.

PS Internet Company, a key player in Kazakhstan's cloud ecosystem, offers an intriguing array of cloud services. These encompass virtual private servers (VPS), dedicated servers, and domain registration. Notably, the company operates a data center situated in Almaty, Kazakhstan. The company's local data center presence in Almaty enhances data transfer efficiency and reduces latency, considerations of utmost importance in cloud computing. Jusan Mobile is a prominent figure in the Kazakhstani telecommunications and IT services sector. It provides access to a spectrum of services, including virtual servers and data storage solutions. Kazakhtelecom, Kazakhstan's national telecommunications operator, extends its services to include cloud and data center solutions. Their clientele predominantly comprises businesses and government organizations within the country. Kazakhtelecom's cloud venture's scientific underpinning is rooted in national relevance and security.

It is noteworthy to emphasize that none of the three major global cloud providers, namely AWS, Azure, and Google Cloud, have established dedicated servers within the territory of Kazakhstan. However, when considering the imperative requirements of relay protection systems within the smart grid context, which necessitate comprehensive system-wide power quality monitoring and flexible near real-time system state simulation, a pressing need emerges for local cloud providers. This need is driven by critical factors such as security, rapid outage mitigation, and the reduction of connection timeouts, all of which are intrinsically linked to the hazards associated with electricity, including power outages and the risk of emergencies.

Comparison of foreign cloud-computing providers

According to data compiled by Synergy Research Group [13], as of the second quarter of 2023, the top three largest Cloud Service Providers are AWS, Microsoft Azure, and Google Cloud, based on their respective market shares in the global cloud infrastructure market with 32 percent, 23 percent, and 10 percent. Collectively, these leading cloud service providers command a substantial 65 percent share of the global cloud infrastructure market.

Research by R. Aljamal et al. presents a comparison between the selected cloud providers from the High-Performance Computing (HPC) user perspective [14]. It concludes that Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) – a part of AWS – offers the most diverse range of virtual machine options, including instances optimized for CPU, memory, storage, and GPU. On the other hand, Microsoft Azure offers the most powerful GPU instances, with up to 24 NVIDIA Tesla V100 GPUs per virtual machine. Google Cloud offers the most flexible networking options, including the ability to create custom virtual private clouds (VPCs). Table 1 shows the comparison of the selected cloud providers from the perspective of

IaaS, including virtual machine options, operating systems (OS), networking, pricing, and billing details.

Table 1 – Analysis of Popular Cloud Service Providers

	Amazon	Azure	Google
Value propositions stated on the official websites [15–17]	Elasticity with auto-scaling capabilities.	High reachability.	Customized virtual machines tailored to specific needs
	Secure resource management.	Trusted brand, 90% of Fortune 500 companies choose Azure.	Leading the way in price-performance competition.
Pricing model details	Hourly on demand pricing	On demand pricing	Monthly on demand pricing
Upfront payment	✓	✓	✗
Region based billing	✓	✓	✓
OS based billing	✓	✗	✓
Instance family based billing	✓	✓	✗ (only based on amount of RAM and virtual CPUs)
Network type based billing	✓	✗	✗
Available regions	18	54	18
Available countries	190	140	35
Traffic routing	✓	✓	✗
Data Encryption	✓	✓	✓

To sum up, AWS would be the most suitable option because it offers a wide range of virtual machine options and a robust ecosystem of data analysis and processing tools, allowing for scalable and efficient analysis of large datasets in real time, which aligns well with the requirements of relay protection systems.

Conclusion

This research highlights the connection between cloud computing and emerging relay protection system models, offering a path to modernization, efficiency, and safety in dynamic industrial environments. Unlike conventional tasks, these systems operate in demanding and high-stakes environments, requiring speed, fault tolerance, and security.

An open architecture model with IIoT to enhance relay protection systems was addressed. Cloud computing plays a pivotal role, enabling real-time data analysis, remote monitoring, and scalability, vital for adaptability and security. Cost-effective PC-based clusters in cloud infrastructure offer potential cost savings. Fault resilience is ensured through parallel processing with data replication in the cloud. Furthermore,

collected data in the cloud could be used for subsequent analysis. Using the ESP32 microcontroller and ESP-NOW communication protocol ensures low latency and efficient data exchange. AWS is the recommended choice for relay protection systems due to its versatile virtual machine options and robust data analysis tools.

Acknowledgement

The research was carried out within the framework of grant funding of the scientific project IRN AP13067967 «Development of technology for building microprocessor-based resource-saving relay protection devices based on open architecture».

REFERENCES

- 1 **Chernobrovov, N. V., Semenov, V. A.** Releinaia zashchita energeticheskikh sistem [Relay protection of energy systems]. // Energoatomizdat, 1998. – 800 p.
- 2 **Ashton K.** That ‘internet of things’ thing. // RFID journal 22.7, 2009. – 97–114p.
- 3 **Zhang, B., Hao, Z., & Bo, Z.** (2016). New development in relay protection for smart grid. // Protection and Control of Modern Power Systems, 1, 1–7.
- 4 **Kauhaniemi, K., & Voima, S.** (2012, March). Adaptive relay protection concept for smart grids. // Renewable Efficient Energy II Conference (P. 1-10).
- 5 **Barroso L. A., Dean J., Hölzle U.**, «Web Search For a Planet: The Google Cluster Architecture», // IEEE Micro, 23(2):22–28, April 2003.
- 6 **Kotas, C., Naughton, T., & Imam, N.** (2018). A comparison of Amazon Web Services and Microsoft Azure cloud platforms for high performance computing. // 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE).
- 7 **Urazayev, D., Eduard, A., Ahsan, M., & Zorbas, D.** (2023, May). Indoor Performance Evaluation of ESP-NOW. // 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (P. 1–6). IEEE.
- 8 **Rusitschka, S., Eger, K., & Gerdes, C.** (2010). Smart Grid Data Cloud: A Model for Utilizing Cloud Computing in the Smart Grid Domain. // 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications.
- 9 **De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M.** (2015, February). What is big data? A consensual definition and a review of key research topics. In AIP conference proceedings (Vol. 1644, No. 1, P. 97–104). American Institute of Physics.
- 10 **Jolly, K.** (2018). Hands-on data visualization with Bokeh: Interactive web plotting for Python using Bokeh. // Packt Publishing Ltd. 0
- 11 **Pranav, P., Dutta, S., & Chakraborty, S.** (2021). Empirical and statistical comparison of intermediate steps of AES-128 and RSA in terms of time consumption. // Soft Computing, 25(21), 13127–13145.
- 12 **Singh, G.** (2013). A study of encryption algorithms (RSA, DES, 3DES and AES) for information security. // International Journal of Computer Applications, 67(19).

13 URL:<https://www.srgresearch.com/articles/q1-cloud-spending-grows-by-over-10-billion-from-2022-the-big-three-account-for-65-of-the-total> [Electronic resource]

14 **Aljamal R., El-Mousa A., Jubair F. A** User Perspective Overview of The Top Infrastructure as a Service and High Performance Computing Cloud Service Providers // 2019. P. 244–249.

15 [Electronic resource] – URL:<https://docs.aws.amazon.com/> [Electronic resource]

16 [Electronic resource] – URL:https://learn.microsoft.com/en-us/azure/?product=popular&WT.mc_id=Portal-Microsoft_Azure_Support

17 [Electronic resource] – URL:<https://cloud.google.com/docs/>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Чернобровов, Н. В., Семенов, В. А.** Релейная защита энергетических систем. // Энергоатомиздат, 1998. – 800 p.
- 2 **Ashton K.** That ‘internet of things’ thing. // RFID journal 22.7, 2009. – 97–14 p.
- 3 **Zhang, B., Hao, Z., & Bo, Z.** (2016). New development in relay protection for smart grid. // Protection and Control of Modern Power Systems, 1, 1–7.
- 4 **Kauhaniemi, K., & Voima, S.** (2012, March). Adaptive relay protection concept for smart grids. // Renewable Efficient Energy II Conference (P. 1–10).
- 5 **Barroso L. A., Dean J., Hölzle U.** «Web Search For a Planet: The Google Cluster Architecture», // IEEE Micro, 23(2):22–28, April 2003.
- 6 **Kotas, C., Naughton, T., & Imam, N.** (2018). A comparison of Amazon Web Services and Microsoft Azure cloud platforms for high performance computing. // 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE).
- 7 **Urazayev, D., Eduard, A., Ahsan, M., & Zorbas, D.** (2023, May). Indoor Performance Evaluation of ESP-NOW. // 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (P. 1–6). IEEE.
- 8 **Rusitschka, S., Eger, K., & Gerdes, C.** (2010). Smart Grid Data Cloud: A Model for Utilizing Cloud Computing in the Smart Grid Domain. // 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications.
- 9 **De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M.** (2015, February). What is big data? A consensual definition and a review of key research topics. In AIP conference proceedings (Vol. 1644, No. 1, P. 97–104). American Institute of Physics.
- 10 **Jolly, K.** (2018). Hands-on data visualization with Bokeh: Interactive web plotting for Python using Bokeh. // Packt Publishing Ltd. 0
- 11 **Pranav, P., Dutta, S., & Chakraborty, S.** (2021). Empirical and statistical comparison of intermediate steps of AES-128 and RSA in terms of time consumption. // Soft Computing, 25(21), 13127–13145.

12 **Singh, G.** (2013). A study of encryption algorithms (RSA, DES, 3DES and AES) for information security. // International Journal of Computer Applications, 67(19).

13 [Electronic resource] – URL:<https://www.srgresearch.com/articles/q1-cloud-spending-grows-by-over-10-billion-from-2022-the-big-three-account-for-65-of-the-total>

14 **Aljamal R., El-Mousa A., Jubair F.** A User Perspective Overview of The Top Infrastructure as a Service and High Performance Computing Cloud Service Providers // 2019. С. 244–249.

15 [Electronic resource] – URL:<https://docs.aws.amazon.com/>

16 [Electronic resource] – URL:https://learn.microsoft.com/en-us/azure/?product=popular&WT.mc_id=Portal-Microsoft_Azure_Support 17 URL:<https://cloud.google.com/docs/>

Accepted for publication on 18.09.23

*А. В. Нефтисов¹, И. М. Казамбаев², Л. Н. Кириченко³,

К. М. Жакупова⁴, Д. Б. Уразаев⁵

^{1,2,3,4,5} Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ПОТ ТЕХНОЛОГИЯСЫ АРҚЫЛЫ ЕСЕПТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІМЕН ӨЛШЕУ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІНІҢ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУ МОДЕЛІ

Бұл зерттеудің объектісі өлшеу түрлендіргіштері мен есептеу жүйелері арасындағы өзара әрекеттесу моделі болып табылады, оны өнеркәсіптік Заттар интернеті (IIoT) және бұлтты технологиялар шеңберінде қолдануға ерекше назар аударылады. Бұл зерттеудің негізгі қажеттілігі-әртүрлі салалардағы деректерді дәл және тиімді жинауға, қорғауға және оңдеуге сұраныстың артуы. Зерттеу IIoT және бұлттық технологиялар арқылы өлшеу есептеу жүйелерін оңтайландыратын өзара әрекеттесу үлгісін нақтылау арқылы осы қажеттілікті қанағаттандыруға бағытталған. Біздің зерттеулеріміздің нәтижесінде деректерді берудің барлық процесін қамтитын өзара әрекеттесудің кешенді моделі жасалды. Бұл модель деректерді жинауды, аналитиканы, нақты уақыттағы байланыс хаттамаларын және деректерді берудің қауіпсіз әдістерін біріктіреді. Модель деректерді жоғары дәлдікпен және тиімділікпен жинауға, беруге және талдауға арналған құрылымды қамтиды. Біздің нәтижелеріміздің маңыздылығы модельдің электр қуаты туралы деректерді жинау және оңдеу, сондай-ақ электр ақауларын бақылау

және қорғау бойынша маңызды мәселелерді шешу қабілетінде жатыр. Бұл нәтижелер энергияны өндіру және бөлуді қоса алғанда, әртүрлі өнеркәсіптік жағдайларда практикалық құндылыққа ие.

Кілтті сөздер: релейлік қорғаныс, ашық архитектура, шифрлау, деректерді оңдеу, деректерді визуализациялау, заттар интернеті

*А. В. Нефтисов¹, И. М. Казамбаев², Л. Н. Кириченко³,

К. М. Жакупова⁴, Д. Б. Уразаев⁵

^{1,2,3,4,5} Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана

Принято к изданию 18.09.23.

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРЯЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИИ ПОТ

Объектом данного исследования является модель взаимодействия между измерительными преобразователями и вычислительными системами, особое внимание уделяется ее применению в рамках промышленного Интернета вещей (IIoT) и облачных технологий. Настоятельной необходимостью, лежащей в основе этого исследования, является растущий спрос на точный и эффективный сбор, защиту и обработку данных в различных отраслях промышленности. Исследование направлено на удовлетворение этой потребности путем выяснения модели взаимодействия, которая оптимизирует измерительные вычислительные системы с помощью IIoT и облачных технологий. В результате наших исследований была разработана комплексная модель взаимодействия, которая охватывает весь процесс передачи данных. Эта модель объединяет сбор данных, аналитику, коммуникационные протоколы в режиме реального времени и безопасные методы передачи данных. Модель включает в себя структуру для сбора, передачи и анализа данных с высокой точностью и эффективностью. Значимость наших результатов заключается в способности модели решать критические задачи по сбору и обработке данных об электрической мощности, а также по мониторингу и защите от электрических неисправностей. Эти результаты имеют практическую ценность в различных промышленных условиях, включая производство, выработку и распределение энергии.

Ключевые слова: релейная защита, открытая архитектура, шифрование, обработка данных, визуализация данных, интернет вещей

<https://doi.org/10.48081/DOXJ8734>

***Е. В. Приходько¹, А. С. Никифоров², Н. М. Арипова³,
А. К. Кинжибекова⁴, А. Е. Карманов⁵**

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

e-mail: john1380@mail.ru

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ФУТЕРОВОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ

В данной статье рассматривается способ оценки остаточного ресурса высокотемпературных агрегатов периодического действия в зависимости от продолжительности рабочей кампании работы футеровки. Анализ работы высокотемпературных агрегатов показывает, что срок службы высокотемпературного агрегата до ремонта во многом определяется продолжительностью работы футеровки. Это справедливо для электродуговых печей, разливочных и промежуточных ковшей и ряда других агрегатов.

В предлагаемом способе учитывается влияние следующих факторов эксплуатации на остаточный ресурс работы футеровки: возникающих температурных напряжений (сжатия и растяжения), максимальной температуры футеровки, а также показателя качества огнеупорного материала – предела прочности (на сжатие и растяжение).

Учёт факторов эксплуатации производят при помощи корректирующих коэффициентов, которые зависят от величины отклонения параметров эксплуатации от нормативного значения.

Температурные напряжения в футеровке являются определяющим условием при оценке остаточного ресурса, так как снижение толщины футеровки именно вследствие действия температурных напряжений является наиболее частой причиной вывода высокотемпературных агрегатов в ремонт.

Полученная оценка остаточного ресурса разливочного ковша согласуется с эксплуатационными данными.

На основании разработанного способа предлагается ряд технических и организационно-управленческих решений для снижения

вероятности аварии в ходе дальнейшей эксплуатации и повышения экономической эффективности технологического процесса.

Ключевые слова: остаточный ресурс, высокотемпературные агрегаты, факторы эксплуатации, футеровка, температурные напряжения.

Введение

Значение остаточного ресурса оборудования промышленных предприятий – важная для эксплуатационного персонала величина, характеризующая следующие области работы предприятия:

- планирование сроков планово-предупредительных ремонтов;
- оценка безопасности обслуживающего персонала;
- логистика поставок запасных частей и материалов для проведения ремонтов;
- сравнительный анализ показателей эксплуатации однотипного оборудования различных предприятий.

Остаточный ресурс высокотемпературных агрегатов является суммарным показателем двух основных групп факторов. Во-первых, это проектные решения, включающие выбор материалов, из которых изготовлено оборудование, технологии производства и др. К этой группе факторов можно также отнести и качество запасных частей и материалов. Во-вторых, это условия эксплуатации, включающие действие температур, давлений, химически агрессивных сред и т.д., разрушающе действующих на оборудование.

В условиях реальной эксплуатации возможен учёт влияния вышеперечисленных факторов на значение остаточного ресурса оборудования. Важным для оценки остаточного ресурса являются факторы, в значительной степени действующие на искомое значение, а также воздействие конкретного фактора, оказывающего влияние на значение остаточного ресурса.

Как отмечают исследования, стойкость футеровок высокотемпературных агрегатов в значительной степени зависит от воздействия температур и химического действия агрессивных сред. Кроме этого на продолжительность рабочей кампании работы высокотемпературного агрегата оказывают влияние следующие факторы: условия проведения промежуточных ремонтов, технология загрузки (заливки) технологического материала в агрегат и др. Задачами исследования для оценки остаточного ресурса является отбор факторов эксплуатации в значительной степени влияющих на продолжительность работы футеровки и численная оценка степени воздействия этих факторов [1].

Существующие качественные и количественные способы, применяемые в настоящее время для оценки остаточного ресурса высокотемпературных агрегатов по условиям надёжности работы футеровки, в основном, позволяют производить оценку на основании статистических данных работы агрегата за предыдущий период [2, 3]. Полученные таким образом данные, не дают объективной картины текущего состояния агрегата при его эксплуатации, и в большей степени подходят для оценки ресурса агрегата на стадии проектирования.

Разработан также ряд способов, позволяющих учитывать текущее состояние высокотемпературного агрегата при измерении его параметров в режиме on-line [4, 5]. Недостатком таких способов при определении остаточного ресурса является учёт влияния только одного фактора эксплуатации, например, температурных напряжений в футеровке при разогреве или охлаждении [6].

Следовательно, необходимо разработать способ оценки остаточного ресурса работы высокотемпературных агрегатов на основе статистических данных, с учётом фактического влияния факторов эксплуатации [7].

В последнее время в мировой промышленности, в связи с увеличением объёма производства промышленной продукции, наблюдается соответствующее увеличение потребления огнеупорных материалов. Так, согласно данным бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан за май 2023 года импорт огнеупорных изделий в Казахстан составляет 48,9 % от общего потребления [8].

Оценка остаточного ресурса футеровок высокотемпературных агрегатов позволит не только снизить расход огнеупорных материалов, сократить затраты энергии на пусковые режимы, а также тепловые потери, но и повысить безопасность обслуживающего персонала [9]. Всё это приведёт к снижению энергоёмкости продукции промышленного производства и снижению себестоимости продукции.

Материалы и методы

Исследования работы футеровок высокотемпературных агрегатов периодического действия показали ряд факторов определяющие их остаточный ресурс:

– Температура работы: высокотемпературные агрегаты работают при экстремально высоких температурах, что может приводить к деградации материалов футеровки;

– Частота циклов: периодическое действие высокотемпературных агрегатов означает, что футеровки подвергаются повторным циклам нагрева

и охлаждения. Это может привести к термическому усталости материалов и возникновению трещин;

– Нагрузки: в процессе работы высокотемпературных агрегатов на футеровки могут действовать механические нагрузки, такие как вибрации, удары и давления. Это может приводить к физическому износу материалов футеровки;

– Воздействие агрессивных сред: в процессе работы высокотемпературных агрегатов на футеровки могут оказывать воздействие коррозии, абразивных частиц или химических веществ. Это может приводить к окислению, выщелачиванию или изнашиванию материалов футеровки;

– Качество материалов и конструкция: качество материалов, из которых сделана футеровка, и ее конструкция могут существенно влиять на ее остаточный ресурс работы. Выбор правильных материалов и оптимальная конструкция футеровки могут увеличить ее долговечность;

– Условия эксплуатации: условия, в которых работает высокотемпературный агрегат, такие как влажность, вибрация, загрязнение и другие агрессивные факторы, могут оказывать влияние на остаточный ресурс работы футеровки.

Учет всех этих факторов при анализе эксплуатации высокотемпературных агрегатов и их футеровок позволит определить причины возникновения повреждений и выбрать наиболее эффективные методы обслуживания и ремонта для увеличения их *срока службы*.

Предлагаемый нами способ позволяет учесть различные условия эксплуатации и их влияние на работу оборудования или процессов. Корректирующие коэффициенты могут быть определены на основе результатов испытаний, статистических данных или экспертных оценок. Таким образом, использование корректирующих коэффициентов позволяет более точно учесть влияние факторов эксплуатации и провести более реалистичный учет при планировании и оценке работоспособности оборудования или процесса [10].

Температурные напряжения в футеровке возникают из-за разности температур между рабочей средой и футеровкой, а также из-за неоднородного распределения температур внутри агрегата.

При увеличении температуры материал футеровки расширяется, что может привести к появлению напряжений. Они могут вызвать трещины, деформацию футеровки или отслаивание ее от основы. Постепенное разрушение футеровки из-за температурных напряжений может привести к снижению ее толщины и, как следствие, к уменьшению ее ресурса.

Для оценки остаточного ресурса футеровки необходимо учитывать не только величину и распределение температур, но и другие факторы, такие как свойства материала футеровки, качество установки и эксплуатационные условия агрегата. Также важно проводить регулярное мониторинг состояния футеровки и производить ремонт или замену вовремя, чтобы предотвратить серьезные повреждения и аварии.

Корректирующий коэффициент для учета возникающих температурных напряжений можно определить по формуле:

$$\omega = \frac{\sigma_{np}(\tau_1)}{\sigma_{расч}(\tau_1)},$$

где σ_{np} – среднее значение температурных напряжений на временном интервале, где значения температурных напряжений сжатия и растяжения превышают расчётные значения, МПа;

$\sigma_{расч}$ – расчётные значения температурных напряжений сжатия и растяжения на временном интервале, МПа;

τ_1 – время (продолжительность) где значения температурных напряжений сжатия и растяжения превышают расчётные значения, ч.

На основании таблицы 1 находят значение корректирующего коэффициента для учёта возникающих температурных напряжений сжатия K1, если требуется учесть возникающие температурные напряжения при сжатии материала. Аналогично, если требуется учесть возникающие температурные напряжения при растяжении материала, находят корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений растяжения K1/. Например, если полученное значение величины отклонения (повышения) напряжений сжатия от расчётных ω составляет 1,7, то корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений сжатия K1 будет равен 1,015.

Корректирующие коэффициенты определяют отклонением параметров эксплуатации от нормативных значений по таблице 1.

Таблица 1 –Значения корректирующих коэффициентов

Факторы эксплуатации	Значение корректирующего коэффициента, при величине отклонения фактора эксплуатации от нормативного значения при отклонении фактора эксплуатации:					
	от 1,5 до 2 раз	от 2 до 2,5 раз	от 2,5 до 3 раз	от 3 до 3,5 раз	от 3,5 до 4 раз	от 4 раз и выше
Температурные напряжения при разогреве K ₁ (повышение)	1,015	1,02	1,03	1,05	1,08	1,1
Температурные напряжения при охлаждении K ₁ ' (повышение)	1,03	1,04	1,06	1,1	1,16	1,2
	от 0 до 2 %	от 2 до 4 %	от 4 до 6 %	от 6 до 8 %	от 8 до 10 %	от 10 до 12 %
Температура футеровки K ₂ (повышение)	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
Предел прочности огнеупоров на сжатие K ₃ (снижение)	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
Предел прочности огнеупоров на растяжение K ₃ ' (снижение)	1,015	1,03	1,045	1,06	1,075	1,09

Если значение прочности огнеупоров выше нормированного, то корректирующий коэффициент будет равен единице, так как изменение прочности не требуется учитывать. Если же значение прочности ниже нормированного, то корректирующий коэффициент будет меньше единицы. По таблице 1 можно определить значение корректирующего коэффициента в зависимости от отклонения прочности от нормативного значения. Этот коэффициент учитывает влияние температуры футеровки и прочности огнеупорных материалов на общую прочность конструкции.

Например, при превышении максимальной температуры футеровки над её расчётным значением на 5 % принимается корректирующий коэффициент для учёта максимальной температуры при работе футеровки $K_2 = 1,03$.

Значение действительной скорости износа материалов футеровки \mathcal{G}_o , мм/сут, корректируют коэффициентами, учитывающими отклонения параметров эксплуатации от расчётных по следующей формуле

$$\mathcal{G}_o = \mathcal{G}_{расч} \cdot K_1 \cdot K_1' \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_3',$$

где K_1 – корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений сжатия;

K_1' – корректирующий коэффициент для учёта возникающих температурных напряжений растяжения;

K_2 – корректирующий коэффициент для учёта максимальной температуры при работе футеровки;

K_3 – корректирующий коэффициент для учёта использования огнеупорного материала с пределом прочности на сжатие ниже паспортных значений;

K_3' – корректирующий коэффициент для учёта использования огнеупорного материала с пределом прочности на растяжение ниже паспортных значений;

$\mathcal{G}_{расч}$ – расчётная скорость износа материалов огнеупорного слоя футеровки высокотемпературного агрегата периодического действия, мм/сут. Расчётная скорость износа принимается как средняя скорость износа материалов огнеупорного слоя футеровки данного высокотемпературного агрегата периодического действия на основе статистических данных.

Остаточный ресурс $n_{пр}$ (в сутках) с учётом общего корректирующего коэффициента факторов эксплуатации определяют по формуле

$$n_{пр} = \frac{\delta_n - \delta_{мин}}{1,1 \cdot \mathcal{G}_o},$$

где δ_n – толщина огнеупорного слоя футеровки на момент оценки остаточного ресурса, мм;

$\delta_{мин}$ – минимальная толщина огнеупорного слоя обмуровки, при которой на высокотемпературном агрегате меняется обмуровка, мм.

1,1 – коэффициент запаса для неучтенных параметров. Это означает, что в расчетах остаточного ресурса футеровки высокотемпературных агрегатов периодического действия будет учитываться дополнительное значение, равное 10% от расчетного значения. Такой подход позволяет обеспечить дополнительную безопасность и учесть возможные неучтенные влияния параметров эксплуатации на остаточный ресурс футеровки.

\mathcal{G}_o – расчет скорости износа огнеупорных материалов футеровки высокотемпературного агрегата периодического действия с учетом отклонений параметров эксплуатации от расчетных, который позволяет: определить величину каждого из отклонений (отклонения возникающих температурных напряжений, отклонения максимальной температуры при работе футеровки, отклонения предела прочности используемого огнеупорного материала ниже паспортных значений), оценить влияние каждого отклонения на скорость износа огнеупорных материалов, рассчитать скорость износа огнеупорных материалов с учетом всех отклонений. Для этого необходимо умножить величину каждого отклонения на соответствующий коэффициент, учитывающий его влияние на скорость износа. Затем полученные результаты сложить. Результатом будет скорость износа огнеупорных материалов в мм/сут.

Результаты и обсуждения

Для оценки остаточного ресурса огнеупорного слоя сталеразливочного ковша был проведён сбор исходных данных по техническому состоянию агрегата: средняя продолжительность работы (рабочая кампания) сталеразливочного ковша до капитального ремонта составляет 40 плавов (циклов); начальная толщина рабочего слоя футеровки из периклазовых кирпичей – 135 мм; минимально допустимая толщина рабочего слоя футеровки – 75 мм; скорость снижения толщины футеровки высокотемпературного агрегата – 2,86 мм/сут; количество плавов на момент оценки остаточного ресурса – 24 (за 12 суток).

Корректирующие коэффициенты:

- с учётом возникающих температурных напряжений сжатия, рассчитанных с учётом изменения теплофизических и термочностных свойств: $K_1 = 1,08$;

- с учётом возникающих температурных напряжений растяжения: $K_1' = 1,1$;

- превышение температуры в течение 25 плавов не зафиксировано: $K_2 = 1$;

- по результатам измерения предела прочности на сжатие не было зафиксировано его отклонения от паспортного значения: $K_3 = 1$;

- по результатам измерения предела прочности на растяжение зафиксировано снижение значения предела прочности периклазового

огнеупора на величину до 2 %. Значение коэффициента K_3 принимаем равным 1,015.

Значение действительной скорости износа материалов футеровки с учётом факторов эксплуатации составит 3,45 мм/сут. Значение остаточного ресурса $n_{пр}$ составит 7,11 суток.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP19675777).

Выводы

Полученная оценка остаточного ресурса разливочного ковша согласуется с эксплуатационными данными.

На основании разработанного способа предлагается ряд технических и организационно-управленческих решений для снижения вероятности аварии в ходе дальнейшей эксплуатации и повышения экономической эффективности технологического процесса.

В качестве технических решений можно выделить следующие:

– внедрение системы мониторинга и контроля качества производства, которая позволит отслеживать и анализировать все этапы процесса производства и оперативно реагировать на возможные отклонения;

– автоматизация процесса управления запасами и снабжения в целях обеспечения постоянного наличия необходимых материалов и запасных частей для проведения ремонтов вовремя;

– использование современных систем управления оборудованием и программного обеспечения для оптимизации процесса ремонта и повышения его эффективности;

– внедрение системы трекинга и контроля за выполнением плановых ремонтных работ, что позволит следить за сроками и качеством проведения работ, а также предотвращать возможные проблемы и задержки;

– применение новых технологий и методов ремонта, которые позволят сократить время и затраты на ремонтную деятельность и повысить ее качество.

Организационно управленческие решения:

– использование аналитических инструментов для определения причин возникновения сбоев и отказов оборудования и разработка мероприятий по их предотвращению;

– принятие решений о проведении регулярного технического обслуживания и профилактических работ для поддержания работоспособности оборудования;

– применение методов контроля и мониторинга работы оборудования, чтобы оперативно выявлять возможные проблемы и принимать меры по их устранению;

– установление эффективных систем коммуникации и сотрудничества между различными подразделениями организации, чтобы обеспечить обмен информацией и координацию действий при управлении оборудованием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Максимей, И. В.** Разработка имитационных моделей сложных технических систем : монография / И. В. Максимей, В. С. Смородин, О.М. Демиденко; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т имени Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – 298 с.

2 **Ajala, A. J.** Impact of Sintering Temperatures on Microstructure, Porosity and Mechanical Strength of Refractory Brick / A. J. Ajala, N. A. Badarulzaman, A. B. Aramjat // **Materials Science Forum.** – 2017. – T.888. – P. 66-70

3 Туркин, И. И. Основные принципы создания сложных технических объектов с активными системами управления / И. И. Туркин, В. В. Медведев, А. А. Воршевский, И. М. Калинин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1. Т.3. – С. 166–173.

4 **Антощук, С. Г.** Метод нейросетевого прогнозирования изменения состояния объектов диагностики на металлургическом производстве / С. Г. Антощук, В. А. Емельянов // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 13. – С. 70–76.

5 Знакомство с системой контроля толщины футеровки SAVEWAY. [Электронный ресурс]. – <https://on-v.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/znakomstvo-s-sistemoj-kontrolya-tolshhiny-futerovki-saveway/> (дата обращения: 12.08.2023).

6 Патент 2724135РФ, МПК G01N25/72. Способ определения остаточного ресурса тепловых ограждений высокотемпературных агрегатов

7 **Герасимова, А. Г., Криксина, Е. Н., Головчук, Е. А.** Оценка остаточного ресурса работы высокотемпературных элементов энергетического оборудования // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 2. – С. 86–89.

8 Статистика внешней, взаимной торговли и товарных рынков. [Электронный ресурс]. – <https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/> (дата обращения: 12.08.2023).

9 **Урбанович, Е. Е., Шкулькова, И. И., Коледа, И. В.** Увеличение стойкости футеровки комбинированных сталеразливочных ковшей за счет увеличения количества промежуточных ремонтов // Литейное производство

и металлургия, 2017. Беларусь: сборник трудов 25-й Международной научно-технической конференции, Минск, 18–19 октября / под общ. ред. Е. И. Маруковича. - Минск: БНТУ, 2017. – С. 186–188.

10 **Никифоров, А. С., Арипова, Н. М., Приходько, Е. В., Кинжибекова, А. К., Карманов, А. Е.** Способ определения остаточного ресурса футеровок высокотемпературных агрегатов периодического действия. Патент № 36293 Республика Казахстан, МПК G01N 25/00 опубл. 14.07.2023, бюл. № 28.

REFERENCES

1 **Maksimei, I. V.** Razrabotka imitacionnyh modelei slozhnyh tehnikeskikh system: monografiya [Development of simulation models of complex technical systems: monograph] / I.V. Maksimei, V.S. Smorodin, O.M. Demidenko; M-vo obrazovaniya RB, Gomelsky gos. un-t imeni F. Skoriny. – Gomel: GGU im. F. Skoriny, 2014. – 298 p.

2 **Ajala, A. J.** Impact of Sintering Temperatures on Microstructure, Porosity and Mechanical Strength of Refractory Brick / A. J. Ajala, N. A. Badarulzaman, A. B. Aranjat // Materials Science Forum. – 2017. – [T.888.](#) – P. 66-70

3 **Turkin, I. I.** Osnovnye principy sozdaniya slozhnyh tehnikeskikh obyektov s aktivnymi sistemami upravleniya [Basic principles of creating complex technical objects with active control systems] / I.I. Turkin, V. V. Medvedev, A.A. Vorshevskii, I.M. Kalinin // Marine intelligent technologies. – 2019. – № 1. Т. 3. – P. 166–173.

4 **Antoshuk, S. G.** Metod neirosetevogo prognozirovaniya izmeneniya sostoiyaniya obyektov diagnostiki na metallurgicheskom proizvodstve [The method of neural network forecasting of changes in the state of diagnostic objects in metallurgical production] / S. G. Antoshuk, V. A. Emelyanov // Electrical and computer systems. – 2014. – № 13. – P. 70–76.

5 Znakomstvo s sistemoi kontrolya tolshiny futerovki SAVEWAY [Introduction to the lining thickness control system SAVEWAY]. [Electronic resource]. – <https://on-v.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka/znakomstvo-s-sistemoy-kontrolya-tolshiny-futerovki-saveway/> (date of application: 12.08.2023).

6 Patent 2724135 RF, МПК G01N25/72. Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa teplovyh ograzhdeniy vysokotemperaturnykh agregatov [Method for determining the residual life of thermal fences of high-temperature units]

7 **Gerasimova, A. G., Kriksina E. N., Golovchuk E. A.** Ocenka ostatochnogo resursa raboty vysokotemperaturnykh elementov energeticheskogo oborudovaniya [Evaluation of the residual service life of high-temperature elements of power equipment] // Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. – 2014. – № 2. – P. 86–89.

8 Statistika vneshnei, vzaimnoi torgovli i tovarnyh rynkov [Statistics of foreign, mutual trade and commodity markets], [Electronic resource]. – <https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/> (date of application: 12.08.2023).

9 **Urbanovich, E. E., Shkulkova, I.I., Koleda, I.V.** Uvelichenie stoikosti futerovki kombinirovannykh staleralizirovannykh kovshei za shet uvelicheniya kolichestva promezhutochnykh remontov [Increasing the durability of the lining of combined steel filling buckets by increasing the number of intermediate repairs] // Foundry and metallurgy, 2017. Belarus: sbornik trudov 25-i Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferencii, Minsk, 18-19 oktyabrya / pod obsh. red. E. I. Marukovicha. - Minsk: BNTU, 2017. - P. 186-188.

10 **Nikiforov, A. S., Aripova N. M., Prihodko, E. V., Kinzhibekova, A. K., Karmanov, A. E.** Sposob opredeleniya ostatochnogo resursa futerovok vysokotemperaturnykh agregatov periodicheskogo deistviya [Method for determining the residual life of linings of high-temperature units of periodic action]. Patent № 36293 Respublika Kazakhstan, МПК G01N 25/00 opubl. 14.07.2023, byl. № 28.

Принято к изданию 18.09.23.

**Е. В. Приходько¹, А. С. Никифоров², Н. М. Арипова³, А. К. Кинжибекова⁴, А. Е. Карманов⁵*

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ҚАЛДЫҚ РЕСУРСЫН БАҒАЛАУ

Негізгі мақалада футеровка жұмысының жұмыс науқанының ұзақтығына байланысты мерзімді әсер ететін жоғары температуралы қондырғылардың қалдық ресурсын бағалау әдісі қарастырылады. Жоғары температуралы қондырғылардың жұмысын талдау көрсеткендей, жоғары температуралы қондырғының жөндеуге дейінгі қызмет ету мерзімі көбінесе футеровканың жұмыс уақытымен анықталады. Бұл электр догалы пештерге, құю және аралық шөміштерге және басқа да бірқатар қондырғыларға қатысты.

Ұсынылған әдіс келесі жұмыс факторларының футеровка жұмысының қалдық ресурсына әсерін ескереді: пайда болатын температура кернеулері (қысу және созылу), футеровканың

максималды температурасы, сондай – ақ отқа төзімді материал сапасының көрсеткіші-беріктік шегі (қысу және созылу).

Пайдалану факторларын есепке алу пайдалану параметрлерінің нормативтік мәннен ауытқу шамасына байланысты түзету коэффициенттерінің көмегімен жүргізіледі.

Футеровкадағы температуралық кернеулер қалдық ресурсты бағалау кезінде шешуші шарт болып табылады, өйткені температуралық кернеулердің әсерінен төсемнің қалыңдығының төмендеуі жоғары температуралы қондырғыларды жөндеуге шығарудың ең көп тараған себебі болып табылады.

Күю шөмішінің қалдық ресурсының алынған бағасы пайдалану деректеріне сәйкес келеді.

Әзірленген әдіс негізінде одан әрі пайдалану барысында апат ықтималдығын азайту және технологиялық процестің экономикалық тиімділігін арттыру үшін бірқатар техникалық және ұйымдастырушылық-басқарушылық шешімдер ұсынылады.

Кілтті сөздер: қалдық ресурс, жоғары температуралы қондырғылар, жұмыс факторлары, футеровка, температура кернеулері.

*E. V. Prikhodko¹, A. S. Nikiforov², N. M. Aripova³,

A. K. Kinzhbekova⁴, A. E. Karmanov⁵

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

Accepted for publication on 18.09.23

EVALUATION OF THE RESIDUAL LIFE OF LININGS OF HIGH-TEMPERATURE UNITS

This article discusses a method for estimating the residual life of high-temperature periodic aggregates, depending on the duration of the lining's working campaign. An analysis of the operation of high-temperature units shows that the service life of a high-temperature unit before repair is largely determined by the duration of the lining. This is true for electric arc furnaces, filling and intermediate ladles and a number of other units.

The proposed method takes into account the influence of the following operational factors on the residual life of the lining: the resulting temperature stresses (compression and stretching), the maximum temperature of the lining, as well as the quality index of the refractory material – the tensile strength (compression and stretching).

The factors of operation are taken into account using correction coefficients, which depend on the magnitude of the deviation of the operating parameters from the standard value.

Temperature stresses in the lining are the determining condition when assessing the residual life, since a decrease in the thickness of the lining due to the action of temperature stresses is the most common reason for the withdrawal of high-temperature units for repair.

The obtained estimate of the residual life of the filling bucket is consistent with the operational data.

Based on the developed method, a number of technical and organizational and managerial solutions are proposed to reduce the probability of an accident during further operation and increase the economic efficiency of the technological process.

Keywords: residual resource, high-temperature aggregates, operating factors, lining, temperature stresses.

<https://doi.org/10.48081/DZDM1098>

***Б. К. Рахадилев¹, Д. Н. Какимжанов², М. К. Даутбеков³,
О. В. Колисниченко⁴**

¹ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

²Восточно – Казахстанский технический университет
имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

³Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

⁴Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Украина, г. Киев.

e-mail: dauir_97@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ДУПЛЕКСНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Металлокерамические сплавы карбид хрома – никель – хром применяют в качестве кислотоупорных материалов в промышленности и для изготовления износостойких деталей. Они конкурируют в этом отношении со сплавами WC–Ni–Cr и TiC–Ni(Co)–Cr. В связи с высокой температурой плавления, твердостью и химической стойкостью высший карбид хрома Cr₃C₂ применяется как компонент наплавочных сплавов.

В данной работе исследуется и предлагается новая технология для защиты деталей энергетических оборудования работающих в экстремальных условиях. Эта технология включает в себя нанесение покрытий из сплавов карбида хрома – никель-хром (Cr₃C₂-NiCr) с использованием детонационного устройства и последующую импульсно-плазменную обработку. Определено, что импульсно-плазменная обработка (ИПО) приводит к улучшению характеристик покрытия. Коэффициент трения покрытия снижается примерно в два раза, микротвердость материала покрытия Cr₃C₂-NiCr увеличивается с примерно 12 ГПа (начальное значение) до около 16,2 ГПа, а износостойкость увеличивается вдвое по сравнению с необработанным покрытием. Кроме того, обнаружено, что после импульсно-плазменной обработки покрытие Cr₃C₂-NiCr

становится более устойчивым к абразивному износу и эрозии. Таким образом, предлагаемая дуплекс технология позволяет создавать высококачественные покрытия из металлокерамического материала Cr₃C₂-NiCr.

Ключевые слова: металлокерамические покрытия, напыление, импульсно-плазменная обработка, покрытие, твердость, износостойкость, эрозия

Введение

В Казахстане около 72 % электроэнергии вырабатывается из угля, причем более половины тепловых электростанции (ТЭС) имеют средний срок эксплуатации выше 30 лет. Большая часть оборудования ТЭС выработала свой проектный и нормативный ресурс, что обуславливает снижение его надежности, вследствие накопления внутренних и внешних повреждений. Поэтому, вопросы предотвращения отказов оборудования ТЭС является актуальным. Одной из причин отказа оборудования ТЭС является разрушение металла поверхностей нагрева и ухудшение их эксплуатационных свойств.

Коррозионные и эрозионные процессы на поверхности нагрева (наружной поверхности труб) зависят от топлива, на котором работает котел, и состава газообразных продуктов горения. Низкосортный уголь содержит ванадий, натрий и серу в качестве примесей. Эти соединения (зола) накапливаются на поверхности нагрева и ведут к коррозии. Золотые отложения разрушают защитный оксидный слой, который всегда образуется на материале естественным путем, и приводят к деградации материала вследствие горячей коррозии. Последствия данного процесса – прекращение работы установки, и необходимость её технического ремонта. Чтобы преодолеть все эти негативные явления, материал, используемый в энергетических установках, может быть либо заменен другими сплавами, либо на поверхность наносятся не растворимые покрытия, которые защищают материалы в течение более длительного времени, тем самым увеличивая срок их службы.

Защита от агрессивных внешних воздействующих факторов деталей энергетических оборудования путем нанесения эрозионно-коррозионноустойчивых покрытий является экономически целесообразным. Покрытие Cr₃C₂-NiCr является наиболее распространенным выбором для уменьшения износа в условиях высоких температур и агрессивных сред, благодаря его отличной устойчивости к окислению и коррозии по сравнению с WC-Co. [1–6]. Для получения покрытия Cr₃C₂-NiCr применяется несколько процессов распыления, таких как детонационное распыление, атмосферное

плазменное распыление (APS), а также высокоскоростное кислородное и воздушно-топливное распыление (HVOF и HVAF) [7–10].

В работе [11–12] было обнаружено, что покрытие $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, полученное методом детонационного напыления значительно уменьшает скорость эррозионно-коррозионных процессов и окисления, по сравнению с покрытиями, полученных другим газотермическими методами.

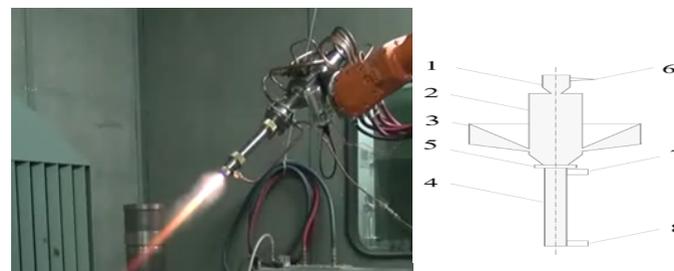
Значительное повышение свойств детонационных покрытий может быть достигнуто за счёт внешним высокоэнергичным воздействием. Наиболее эффективная технология – это комплексная импульсно-плазменная обработка, включающая модифицирование поверхности: магнитным полем, электрическим током (поток заряженных элементарных частиц), высокоградиентной тепловой струей (плазмой), содержащей металлические и неметаллические легирующие элементы [13–14].

Целью настоящей работы является изучение возможности повышения комплекса физико-механических и трибологических свойств материала энергетического оборудовании тепловых станции получением покрытия из порошка $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ с применение современных методов кумулятивно-детонационного нанесения покрытий и последующей их импульсно-плазменной обработки.

Материалы и методы

В качестве напыляемого материала использовали порошок $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ (75/25) (фирмы H.C. Starck: AMPERIT® 584.054) с дисперсностью 10–45 мкм. Покрытия наносили на образцы из стали 12X1МФ методом детонационного напыления (ДН) на многокамерной детонационной установке [17]. Устройство обеспечивает образование струи продуктов сгорания для ускорения и нагрева напыляемый порошка и нанесения высококачественных металлических и керамических покрытий.

На рисунке 1 показан общий вид многокамерного детонационного устройства [15]. Конструктивные особенности многокамерного детонационного устройства обеспечивает возможность детонационного сгорания бедных горючих смесей, что снижает температуру продуктов сгорания, практически без снижения их скорости. Для ускорения и нагрева в ствол подается доза порошка.



1 – форкамера; 2 – цилиндрическая камера; 3 - кольцевая полусферическая камера; 4 – ствол; 5 – кольцева щель; 6 – свеча для инициирования детонации; 7, 8 – датчики давления

Рисунок 1 – Многокамерная детонационная установка: общий вид (а) и принципиальная схема установки (б)

Частота следования детонации составляет 20 Гц и выше. Подача газов и порошка в детонационное устройство осуществляется непрерывно, от стандартного порошкового питателя. Расход порошка – 0,9 кг/час и выше. Дозирование газов и порошка и выдача их в устройство осуществляется газодинамическими устройствами за счет энергии продуктов сгорания.

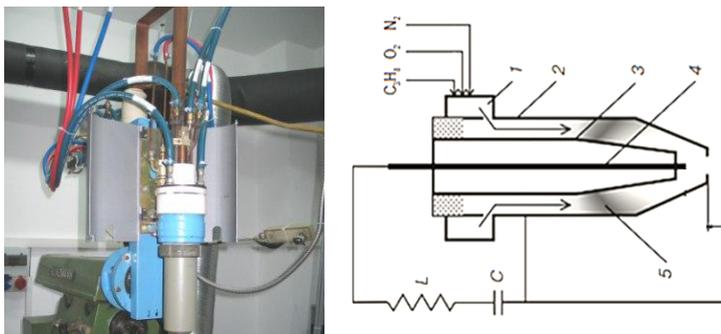
Таблица 1– Расход компонентов горючей смеси детонационного устройства.

Компоненты смеси:		Расход, м3/час
1 камера	O ₂	2.92
	воздух	1.33
	C ₃ H ₈	0.66
2 камера	O ₂	2.93
	воздух	1.43
	C ₃ H ₈	0.66
Транспортирующий газ:		0,9

Для модифицирования полученного детонационного покрытия на поверхности изделия использовали импульсно-плазменную технологию (PPT). Генерирование импульсной плазмой осуществляли на установке «Импульс-6» [15].

Импульсный электрический ток выделяет тепловую энергию на ослабленных участках материала покрытия, имеющих повышенное

резистивное сопротивление. Это нагревает их, вплоть до плавления, активирует диффузионные процессы и в конечном итоге «залечивает» дефекты (микротрещины, поры), увеличивая адгезионные и когезионные характеристики [15].



1 – детонационная камера; 2,3 – коаксиальные электроды; 4 – эродируемый электрод; 5 – межэлектродный зазор; 6 – изделие; H – расстояние до поверхности изделия.

Рисунок 2 – Устройство для импульсно-плазменной обработки общий вид (а) и принципиальная схема установки (б).

Параметры импульсно-плазменной обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры импульсно-плазменной обработки

Параметр	Величина
Напряжение на конденсаторной батарее (В)	3200
Емкость конденсаторной батарее (мкФ)	960
Индуктивность разрядного контура (мкГн)	30
Частота плазменных импульсов (Гц)	1.2
Скорость перемещения (мм/сек)	5
Расстояние до поверхности (мм)	50

Фазовый состав покрытий DS и DS/PPT изучали с использованием метода рентгеноструктурного анализ на рентгеновском дифрактометре X³PertPRO (Philips Corporation, Амстердам, Нидерланды) с Cu-K α -излучением ($\lambda = 2,2897 \text{ \AA}$). Микротвердость поперечного сечения образцов измеряли в соответствии с ГОСТ 9450–76 на микротвердомере Металаб 502 (Металаб, Россия). Трибологические испытания на трение скольжения проводили на трибометре TRB³ (Anton Paar Srl, Peseux, Швейцария) с использованием стандартной методики «шар-диск» (международные стандарты ASTM G 133-

95 и ASTM G99), где в качестве контртела использовали шарик диаметром 6,0 мм, из стали с покрытием SiC, при нагрузке 6 Н и линейной скорости 15 см/сек, радиусом кривизны износа 5 мм, пути трения 1200м. Испытание на абразивный износ проводилось на экспериментальном стенде с жестко закрепленными абразивными частицами по схеме «вращающийся ролик - плоская поверхность» по ГОСТ 23.208-79.

Испытания на эрозионную стойкость при комнатной температуре проводились на специальном стенде в соответствии с ASTM G76-04. Тест использовал трубку сопла с диаметром 3 мм, расположенным на расстоянии 10 мм от образца угол наклона насадки по отношению к образцу было 90°. Испытания проводились с использованием абразива кварца диаметром зерна 50 мкм. Продолжительность теста составляла 5 мин.

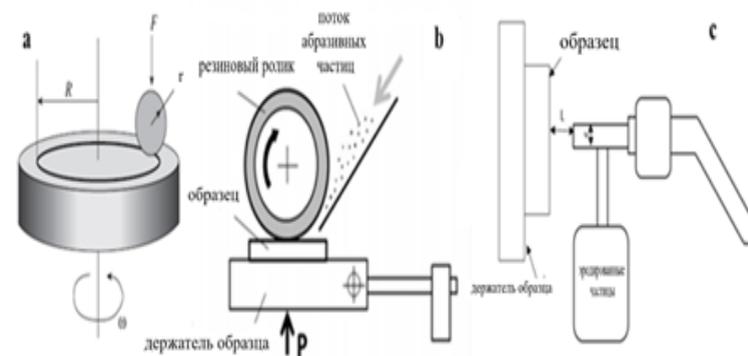


Рисунок 3 – Процесс испытаний образцов: испытания на сухое трение по схеме «шар-диск» (а), испытание на абразивный износ в соответствии ГОСТ 23.208-79 (б), испытания на эрозионную стойкость в соответствии ASTM G76-04 (с)

Результаты и обсуждение

На рисунке 5 представлены рентгенограммы поверхности покрытия до (DS) и после импульсно-плазменной обработки (DS/PPT). В покрытиях до импульсно-плазменной обработки обнаружены следующие фазовые составляющие: Ni-Cr-Fe, Cr₃C₂, Ni-Cr-Fe/ Cr₇C₃ и Cr₇C₃ фазы (рис.4а). После ИПО на поверхности обнаружены фазы оксида хрома Cr₂O₃ (рис.5б). При этом, после ИПО на рентгенограмме наблюдается рост интенсивности пиков карбида хрома Cr₃C₂, (рис.5б), причиной которому является кратковременная активизация поверхности покрытия из за импульсной плазмы, где плазма содержащая активный углерод и кислород обуславливает протекания

двух взаимоисключающих химико термических процессов окисления и карбюризации. Сочетание твердых фаз оксида и карбида хрома в упрочненной металлической матрице существенно повышает стойкость полученного материала в условиях абразивного износа.

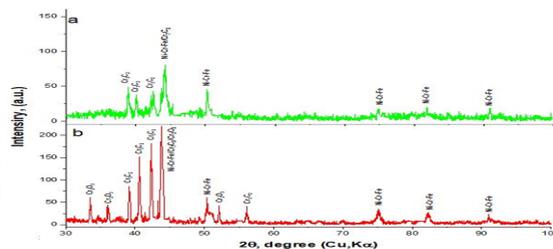


Рисунок 5 – Рентгенограммы поверхности материала покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ до (а) и после (б) импульсно- плазменной обработки

На рисунке 6 показан график распределения микротвердости по толщине покрытия до и после импульсно-плазменной обработки. График зависимости микротвердости от толщины материала покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ (Рис.6) показывает неравномерное распределение твердости: материал покрытие вблизи поверхности детали имеет большее значение микротвердости в отличие от приповерхностных слоев. Из этого профиля следует, что на величину твердости влияет содержание твердой фазы и ее распределение в покрытии. Одним из основных свойств отвечающих за долговечность изделий является трибологические параметры, которые в настоящей работе оценивалось значением объёма износа покрытий до и после ИПО по схеме «шар-диск» (Рис.7а). По полученным значениям профилометра были построены профилограммы, а так же с использованием специальной

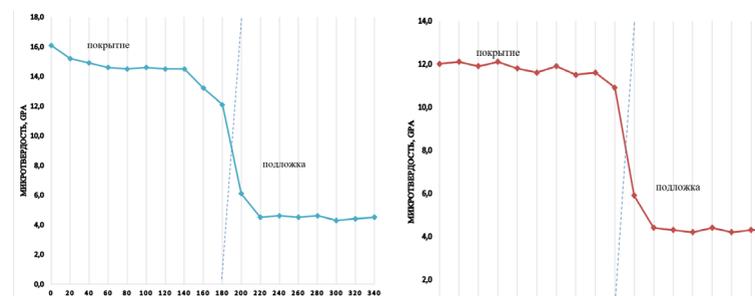


Рисунок 6 – График распределение твердости по глубине покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ до (а) и после ИПО (б)

программы были получены значения для расчета объемов износа до и после ИПО. Результаты испытания показали, что после ИПО покрытие имеет повышенную износостойкость согласно подтверждению РДА это вероятнее всего связано с повышением долей Cr_3C_2 карбидной фазы, которая обладает высокой стойкостью к износу. Согласно исследованию трибологических характеристик поверхности покрытия установлено, что импульсно плазменная обработка оказала существенное влияние на значение коэффициента трения поверхности покрытия (понижена в 2 раза) и износостойкость (повышена почти в 3 раза по сравнению с значениями до ИПО).

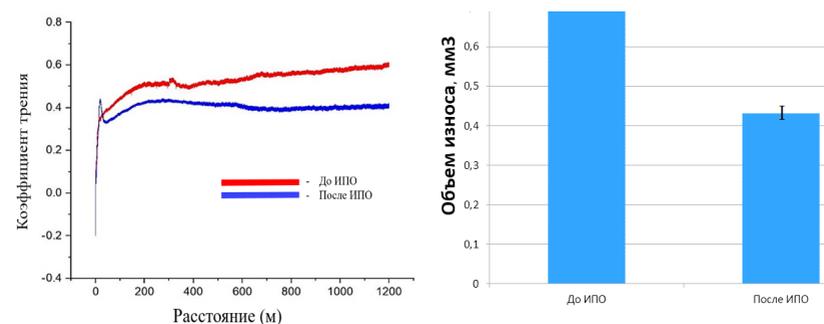


Рисунок 7– Результаты трибологических испытаний покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ до и после ИПО а)коэффициент трения б) объем износа

Абразивный износ – основной фактор, ограничивающий работоспособность большинства деталей оборудования различного назначения. Для оценки стойкости покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ до и после ИПО к абразивному износу были проведены испытания на специальном стенде.

После каждого испытания определяли потерю массы образцов и оценивали ее среднее значение со стандартным отклонением. Результаты испытаний на абразивный износ показали, что значение потери массы материала покрытия с ИПО было меньше (0.0056 г), чем до ИПО (0.016 г) в 2-3 раза, что свидетельствует о повышенной стойкости материала к абразивному износу. Это можно связать с наличием в материале покрытия после ИПО большей доли упрочняющей карбидной фазы и твердых оксидов хрома.

Результаты испытаний на эрозию подтвердили, что покрытия Cr_3C_2 -NiCr с ИПО значительно повышает стойкость к эродированным частицам. Расчетная относительная потеря веса составила 0,1124 г. и 0,0616 г. для образца без ИПО и образца с ИПО, соответственно. Это так же можно связать с наличием в материале покрытия после ИПО большей доли упрочняющей карбидной фазы и твердых оксидов хрома.

Выводы

Путем оценки и анализа всех собранных данных, можно сформулировать следующие основные выводы данного исследования. Дуплекс технологии нанесения покрытий обеспечивают, на оптимальных режимах, формирование качественных покрытий из металлокерамического материала системы Cr_3C_2 -NiCr. Импульсно-плазменная обработка (ИПО) способствует снижению значения коэффициента трения покрытия ~ в 2 раза, увеличению микротвердость материала покрытий Cr_3C_2 -NiCr от ~12 ГПа (исходная) до ~ 16,3 ГПа и износостойкости в 2 раза по сравнению с необработанным покрытием;

После импульсно-плазменной обработки повышается стойкость покрытий Cr_3C_2 -NiCr к абразивному изнашиванию и стойкость к эрозии.

Можно рекомендовать дуплекс технологий нанесения покрытий, включающей детонационного напыления и последующей импульсно-плазменной обработки, как оптимальный способ защиты поверхностей деталей, работающих в экстремальных условиях эрозионного и абразивного износа.

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № AP09261164 «Повышение стойкости стальных элементов котлов теплоэлектростанции к коррозионному и эрозионному износу».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Lu H.** et al. Erosion and corrosion behavior of shrouded plasma sprayed Cr_3C_2 -NiCr coating //Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 388. – С. 125534.

2 **Pogrebnyak A. D., Tyurin Y. N.** Modification of material properties and coating deposition using plasma jets //Physics-Uspekhi. – 2005. – Т. 48. – № 5. – С. 487.

3 **Li C. J.** et al. Dominant effect of carbide rebounding on the carbon loss during high velocity oxy-fuel spraying of Cr_3C_2 -NiCr //Thin Solid Films. – 2002. – Т. 419. – №. 1-2. – С. 137–143.

4 **Janka L.** et al. Influence of heat treatment on the abrasive wear resistance of a Cr_3C_2 -NiCr coating deposited by an ethene-fuelled HVOF spray process //Surface and Coatings Technology. – 2016. – Т. 291. – С. 444–451.

5 **Matikainen V., Koivuluoto H., Vuoristo P.** A study of Cr_3C_2 -based HVOF-and HVAF-sprayed coatings: Abrasion, dry particle erosion and cavitation erosion resistance //Wear. – 2020. – Т. 446. – С. 203188.

6 **Korpiola K.** et al. High temperature oxidation of metal, alloy and cermet powders in HVOF spraying process. – Helsinki University of Technology, 2004.

7 **Kakimzhanov D. N.** et al. Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr_3C_2 -NiCr coatings //Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – Т. 5. – № 1. – С. 45–51.

8 **Ulianitsky V. Y.** et al. The experience of research and application of technology for applying detonation coatings //Izv. RAS SamSC. – 2010. – Т. 12. – С. 569–575.

9 **Roy M.** et al. Abrasive wear behaviour of detonation sprayed WC-Co coatings on mild steel //Surface Engineering. – 1999. – Т. 15. – №. 2. – С. 129–136.

10 **Ulianitsky V. Y.** et al. Detonation spraying behaviour of refractory metals: Case studies for Mo and Ta-based powders //Advanced Powder Technology. – 2018. – Т. 29. – № 8. – С. 1859–1864.

11 **Rakhadilov B.** et al. Structure and tribological properties of Ni-Cr-Al-based gradient coating prepared by detonation spraying //Coatings. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 218.

12 **Ji G. C.** et al. Microstructural characterization and abrasive wear performance of HVOF sprayed Cr_3C_2 -NiCr coating //Surface and Coatings Technology. – 2006. – Т. 200. – № 24. – С. 6749–6757.

13 **Dumitru G.** et al. Laser processing of hardmetals: Physical basics and applications //International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2005. – Т. 23. – №. 4–6. – С. 278–286.

14 **Akamatsu H.** et al. Surface treatment of steel by short pulsed injection of high-power ion beam //Surface and coatings technology. – 2001. – Т. 136. – № 1–3. – С. 269–272.

15 **Тюрин, Ю. Н., Жадкевич, М. Л.** Плазменные упрочняющие технологии. – Киев : Наукова думка, – 2008. – 218

REFERENCES

- 1 **Lu H.** et al. Erosion and corrosion behavior of shrouded plasma sprayed Cr₃C₂-NiCr coating // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 388. – С. 125534.
- 2 **Pogrebnyak A. D., Tyurin Y. N.** Modification of material properties and coating deposition using plasma jets // Physics-Uspekhi. – 2005. – Т. 48. – № 5. – С. 487.
- 3 **Li C. J.** et al. Dominant effect of carbide rebounding on the carbon loss during high velocity oxy-fuel spraying of Cr₃C₂-NiCr // Thin Solid Films. – 2002. – Т. 419. – №. 1–2. – С. 137–143.
- 4 **Janka L.** et al. Influence of heat treatment on the abrasive wear resistance of a Cr₃C₂NiCr coating deposited by an ethene-fuelled HVOF spray process // Surface and Coatings Technology. – 2016. – Т. 291. – С. 444–451.
- 5 **Matikainen V., Koivuluoto H., Vuoristo P.** A study of Cr₃C₂-based HVOF-and HVOF-sprayed coatings : Abrasion, dry particle erosion and cavitation erosion resistance //Wear. – 2020. – Т. 446. – С. 203–188.
- 6 **Korpiola K.** et al. High temperature oxidation of metal, alloy and cermet powders in HVOF spraying process. – Helsinki University of Technology, 2004.
- 7 **Kakimzhanov D. N.** et al. Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr₃C₂-NiCr coatings // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – Т. 5. – №. 1. – С. 45–51.
- 8 **Ulianitsky, V. Y.** et al. The experience of research and application of technology for applying detonation coatings // Izv. RAS SamSC. – 2010. – Т. 12. – С. 569–575.
- 9 **Roy, M.** et al. Abrasive wear behaviour of detonation sprayed WC–Co coatings on mild steel // Surface Engineering. – 1999. – Т. 15. – № 2. – С. 129–136.
- 10 **Ulianitsky, V. Y.** et al. Detonation spraying behaviour of refractory metals: Case studies for Mo and Ta-based powders // Advanced Powder Technology. – 2018. – Т. 29. – № 8. – С. 1859–1864.
- 11 **Rakhadilov, B.** et al. Structure and tribological properties of Ni–Cr–Al-based gradient coating prepared by detonation spraying // Coatings. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 218.
- 12 **Ji G. C.** et al. Microstructural characterization and abrasive wear performance of HVOF sprayed Cr₃C₂-NiCr coating //Surface and Coatings Technology. – 2006. – Т. 200. – № 24. – С. 6749–6757.
- 13 **Dumitru, G.** et al. Laser processing of hardmetals: Physical basics and applications // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2005. – Т. 23. – № 4-6. – С. 278–286.

14 **Akamatsu H.** et al. Surface treatment of steel by short pulsed injection of high-power ion beam // Surface and coatings technology. – 2001. – Т. 136. – № 1-3. – С. 269–272.

15 **Tyurin, Yu.N., Zhadkevich, M. L.** Plazmennyye-uprochnyayushchie tekhnologii [Plasma hardening technologies] – Kyiv, Naukova-dumka – 2008. – P.218.

Принято к изданию 18.09.23.

*Б. К. Рахадиллов¹ Д. Н.Кәкімжанов² М. К. Даутбеков³ О. В.Колисниченко⁴

¹«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ;

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ;

³С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.,

⁴Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты, Украина, Киев қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТЫҢ БӨЛШЕКТЕРІНЕ ДУПЛЕКСТІ ЖАБЫНДАРДЫ ЖАҒУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Металл-керамикалық қорытпалар хром – никель-хром карбиді өнеркәсіпте қышқылға төзімді материалдар ретінде және тозуға төзімді бөлшектер жасау үшін қолданылады. Олар осыған байланысты WC–Ni–Cr және TiC– Ni(Co)–Cr қорытпаларымен бәсекелеседі. Жоғары балқу температурасына, қаттылығына және химиялық төзімділігіне байланысты жоғары хром карбиді Cr₃C₂ балқыту қорытпаларының құрамдас бөлігі ретінде қолданылады.

Бұл жұмыс экстремалды жағдайларда жұмыс істейтін энергетикалық жабдықтардың бөлшектерін қорғаудың жаңа технологиясын зерттейді және ұсынады. Бұл технология детонациялық құрылымы пайдаланып хром – никель-хром (Cr₃C₂-NiCr) карбиді қорытпаларын жабуды және одан кейінгі импульсті-плазмалық өңдеуді қамтиды. Импульсті-плазмалық өңдеу (ИПӨ) қамту сипаттамаларының жақсаруына әкелетіні анықталды. Жабынның үйкеліс коэффициенті шамамен екі есе төмендейді, Cr₃C₂-NiCr жабын материалының микрقاتтылығы шамамен 12 ГПа-дан (бастапқы мән) шамамен 16,2 ГПа-ға дейін артады, ал тозуға төзімділік өңделмеген жабынмен салыстырғанда екі есе артады. Сонымен қатар, импульсті-плазмалық өңдеуден кейін Cr₃C₂-

NiCr жабыны абразивті тозуға және эрозияға төзімді болатыны анықталды. Осылайша, ұсынылған дуплекс технологиясы Cr_3C_2 -NiCr металл керамикалық материалынан жоғары сапалы жабындар жасауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: металл-керамикалық жабындар, бұрқу, импульсті-плазмалық өңдеу, жабын, қаттылық, тозуға төзімділік, эрозия

*B. K.Rakhadilov¹, D. N. Kakimzhanov², M. K. Dautbekov³, O. V. Kolisnichenko⁴

¹Plasmascience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

²D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

S. Amanzholov East Kazakhstan University

Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan;

⁴E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Accepted for publication on 18.09.23

TECHNOLOGY OF DUPLEX COATING ON POWER EQUIPMENT PARTS

Metal-ceramic alloys chromium carbide - nickel-chromium are used as acid-resistant materials in industry and for the manufacture of wear-resistant parts. They compete in this respect with WC-Ni-Cr and TiC-Ni(Co)-Cr alloys. Due to their high melting point, hardness and chemical resistance, the highest chromium carbide Cr_3C_2 is used as a component of surfacing alloys.

This paper investigates and proposes a new technology for the protection of parts of power equipment operating under extreme conditions. This technology includes coating of chromium carbide-nickel-chromium carbide (Cr_3C_2 -NiCr) alloys using a detonation device and subsequent pulse-plasma treatment. It is determined that pulse plasma treatment (PPI) leads to an improvement in the performance of the coating. The friction coefficient of the coating is reduced by about half, the microhardness of the Cr_3C_2 -NiCr coating material is increased from about 12 GPa (initial value) to about 16.2 GPa, and the wear resistance is doubled compared to the untreated coating. In addition, it is found that the Cr_3C_2 -NiCr coating becomes more resistant to abrasion and erosion after pulse plasma treatment. Thus, the proposed duplex technology makes it possible to create high-quality coatings of Cr_3C_2 -NiCr metal-ceramic material.

Key words: ceramic metal coatings, sputtering, pulse plasma treatment, coating, hardness, wear resistance, erosio

FTAMP 87.17.81.

<https://doi.org/10.48081/OGDD2247>

***Г. К. Сыдыкова, А. М. Айтуғанова, А. Жансерікқызы**

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті,

Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

e-mail: sydykova77@mail.ru

ОЗОНОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ҚҰРУДЫҢ НЕГІЗГІ ПРИНЦИПТЕРІ

Озонды бақылау әдісін жасау және оны жүзеге асыру арқылы озонметриялық құрылғыларды жасау үшін олардың қарапайым, әрі ыңғайлы жұмыс кезінде белгілі бір жоғары дәлдікпен, сенімділікпен ерекшеленуін қамтамасыз етудің маңызы өте зор. Зерттеу нәтижелерінің көмегімен атмосфералық ауадағы озон концентрациясын өлшеудің ең тиімді жолы оларды тәжді разрядтағы иондардың қозғалғыштығы арқылы анықтау екенін көрсетті. Сондықтан, алдымен, оң бірполярлы тәжі жағдайында иондардың қозғалғыштығының мәндерін эксперименттік түрде өлшеу мүмкіндіктерін қарастырамыз.

Озон концентрациясын өлшеу озонның физика – химиясы мен озон өндіру технологиясы үшін өзекті болып табылады, ал ауадағы озон мөлшерін үздіксіз бақылау тұрмыстық және қызметтік үй-жайлар мен емдеу орындарын озондауға дайындау кезінде де қажет. Барлық жағдайларда озонметрлерге олардың дизайнының қарапайымдылығы мен жоғары шуылға төзімділігіне, өлшеу дәлдігі кезінде жұмыс жасау ыңғайлылығына талаптар қойылады [15].

Берілген жұмыста разрядтық ток шамасының иондардың орташа қозғалғыштығының мәніне тікелей тәуелділігін ескере отырып, токтың ұлғаюынан разрядтық саңылау ішіндегі озонның көлемдік концентрациясын анықтауға мүмкіндік беретін, озонды оның жоғары концентрациясында бақылау үшін қолайлырақ болатын әдіс ұсынылды. Бақылау дәлдігі мен нәтижелердің сенімділігін арттыру үшін теңдестірілген өлшеу сұлбасы қолданылды.

Кілтті сөздер: озон, тәжі разряды, иондар, озон концентрациясы, өлшеу сұлбасы.

Кіріспе

Қазіргі уақытта озонды талдау мен бақылаудың бірнеше жүздеген әдістері бар. Шартты түрде оларды физикалық, физикалық-химиялық және химиялық деп бөлуге болады. Басқа классификация бойынша абсолютті және салыстырмалы деп бөлуге болады. Біріншісі өлшенетін концентрацияның шамасын тікелей алуға мүмкіндік береді; олардың ең дәлдігі озонметрлерді калибрлеу жүргізілетін бастапқы стандарттар ретінде қызмет ете алады, ал екіншісі озон концентрациясының функциясы болып табылатын шаманы өлшейді және өздері калибрлеуді қажет етеді.

Материалдар мен әдістер

Ең көп деректер иондардың өз газындағы қозғалғыштығы туралы беріледі. Масс-спектрометриялық өлшемдер молекулалық газдарда бір мезгілде иондардың бірнеше түрі болуы мүмкін екенін көрсетеді. Мысалы, азотта бөлме температурасында N⁺, N⁺², N⁺³, N⁺⁴ тұрақты, ал таза оттегіде иондардың тұтас ассоциациялары бар - O⁺, O⁺², O⁺³, O⁺⁴ және O⁻, O⁻², O⁻³. Молекулалары әртүрлі типтегі атомдардан тұратын газдар қоспаларында иондар одан да әртүрлі болады [1]. Мысалы, атмосфералық ауада (N₂ - 75,6%, O₂ - 23%) тәж разряды кезінде азот пен оттегінің атомдық және молекулалық иондары бір мезгілде болуы мүмкін.

1-кестеде оң азот иондарының және теріс оттегі иондарының [2] қозғалғыштығы, сондай-ақ азоттағы, оттегідегі және ауадағы әртүрлі атомдық және молекулалық иондардың түзілу реакциялары келтірілген.

Кесте 1 – Азот пен оттегі иондарының қозғалғыштығы

Газ	Иондар, (см ² /Вс)	Тәжірибе	Реакциялар
N ₂ [6]	N ₁ - 3.0; N ₂ - 1.9; N ₃ - 2.3; N ₄ - 2.3.	P = 760 мм сын. бағ. T = 273K	N ₂ ⁺ + N ₂ → N ₄ ⁺ N ₂ ⁺ + N ₂ → N ₃ ⁺ + N
N ₂ [6]	N ₁ - 3.3; N ₂ - 1.8; N ₃ - 3.1; N ₄ - 2.4.	E/p < 20	N ₄ ⁺ + N ₂ → 2N ₂ ⁺ + N ₂ ⁺ N ₂ ⁺ + O ₂ → N ₂ ⁺ + O ₂ ⁺ N ₂ ⁺ == N ₄ ⁺
N ₂ [47]	N ₁ - 3.42; N ₂ - 2.8; N ₃ - 2.55; N ₄ - 2.42.	E/p → 0 Есеп	
O ₂ [46]	O ₁ - 3.2 (2.0); O ₂ - 2.2 (2.24); O ₃ - 2.6 O ₄ - 2.2 (2.16)	p = 760 T = 273K мм сын. бағ.	O ₂ + e → O ⁺ + O ⁻ + e O ⁺ + O ₂ → O ₂ ⁺ + O O ⁺ + 2O ₂ → O ₃ ⁺ + O ₂ O ₂ ⁺ + 2O ₂ → O ₄ ⁺ + O ₂ O ₂ ⁺ + O ₂ → O ₂ ⁺ + O ₂ O ⁻ == O ₂ ⁻
O ₂ [6]	O ₁ - 3.4; O ₂ - 1.95; O ₃ - 2.6	E/p ₀ = 9-50, Pd = 7-26	
O ₂ [6]	O ₁ - 3.2; O ₂ - 2.25; O ₃ - 2.5	E/p ₀ = 0.1-235 E/p ₀ → 0	
O ₂ [47]	O ₁ - 3.38; O ₂ - 2.76; O ₃ - 2.52; O ₄ - 2.34	Есеп E/p ₀ → 0	

Ауа [48] [49] [15] [45]	k ₊ kt 1.4/δ 2.24 1.03 0.75	k ₋ 1.8 1.8/δ 0.66	p = 760 мм сын. бағ. T = 293K T = 293K 0.3 - 0.5 мс p = 760 мм сын. бағ. T = 273K	2O ₂ + e → O ₂ ⁺ + O ₂ O ₂ ⁺ + e → O ₂ ⁺ + h O ⁺ + O ₂ → O ₂ ⁺ + O O ⁺ + N ₂ → NO ⁺ + N
----------------------------------	---	--	--	---

Оң (жақшада) және теріс оттегі иондары әдетте атомдық O⁺ және O⁻[3] иондарын қоспағанда, шамамен бірдей қозғалғыштыққа ие болады. Электрондардың көпшілігі оттегіге қосылғанымен, бірақ олардың едәуір бөлігі бос қалады, бұл O₂ ионының орташа қозғалғыштығын O⁺-мен салыстырғанда едәуір арттырады, ал таза оттегіде O₂ ионының қозғалғыштығы ионның басқа түрлерінен ерекшеленеді, бұл иондардың қозғалысы процесінде шамадан тыс зарядтау нәтижесінен де болуы мүмкін.

Кестенің екінші бөлігінде тәждің разряды жағдайында «қалыпты» ауа иондары үшін k эксперименттік мәндері көрсетілген және барлық жағдайларда p = 760 мм сын. бағ., T = 293 °K шарттары қабылданған. Иондардың қалыпты жағдайда төмендеген қозғалғыштығын анықтау үшін 273 санын 293 санына ауыстырылады [3, 4]. А.Г.Ляпин, В.И.Попков еңбектерінде «Өтпелі бірполярлы тәж өрісіндегі иондардың қозғалғыштығын өлшеу» атты кітабында [4] зонд өлшемдері арқылы ρ k мәні (көлемдік заряд тығыздығы мен ион қозғалғыштығының туындысы) анықталған нүктедегі иондардың жергілікті қозғалғыштығы алынды. Күрделі және комплексті иондардың пайда болуы k(t) иондардың электродаралық саңылаудағы тұру уақытына байланысты екені анықталды [5].

Тәждік разряд жағдайында ауада әртүрлі қозғалғыштығы бар әртүрлі сортты иондар болуы мүмкін. Есептеулер үшін қолданылатын қозғалғыштықтың орташа мәні әр түрлі иондардың қозғалғыштығымен ғана емес, олардың концентрациясымен де анықталады. Сондай-ақ [6] орташа мәндердің k₊ және k₋ олардың электрод аралық кеңістіктегі өмір сүру уақытына тәуелділігі анықталды. (0.3 - 0.5)мс диапазонында иондардың қозғалғыштығы k₊ = 2.1 және k₋ = 2.24 см²/Вс құрайды. Иондардың разрядтық аралықта болу уақыты 10 мс-қа дейін ұлғайған кезде, ол 1.5-ке дейін азаяды, бұл жоғарыда айтылғандай, ауыр күрделі иондардың пайда болуымен түсіндіріледі.

Теріс иондардың түзілуі мен ыдырау процестері иондану және оған іргелес теріс тәж аймақтарында қызығушылық тудырады. Электрондардың атомдармен және теріс ионды газдардың молекулаларымен (оттегі, фтор, хлор, фреон және т.б.) соқтығысуымен разряд аралығында оң ғана емес, теріс иондардың да түзілуі мүмкін. Азот және басқа инертті газдар атмосферасында теріс иондар пайда болмайды. Айта кету керек, атмосфералық ауада теріс

тәжде олар сыртқы разряд аймағында негізгі заряд тасымалдаушылар болып табылады.

Тәжді разрядтың негізінде газ қоспаларын талдау әдісі ұсынылды, мұнда разряд саңылауындағы газ құрамының өзгеруі металл түтік пен оның осі бойымен созылған металл жіп арасындағы тәж разрядының жану кернеуінің мәндерімен анықталады. Сонымен қатар, қуат көзінің кернеуінің ауытқуы мен талданатын газдың қысымы мен жылдамдығының әсерінен өлшеудің жоғары дәлдігі мен алынған мәліметтердің сенімділігі қамтамасыз етілмейді [7]. Осыған байланысты озонды бақылау әдісін жасау және оны жүзеге асыруға арналған құрылғыны әзірлеу міндеті тұрды, ол өлшеулердің белгілі жоғары дәлдігі мен сенімділігінен қарапайымдылығымен және пайдаланудың қарапайымдылығымен ерекшеленді. Зерттеу нәтижелері атмосфералық ауадағы озон концентрациясын өлшеудің ең тиімді әдісі оларды тәж разрядындағы иондардың қозғалғыштығы арқылы анықтау екенін көрсетті. Сондықтан, біз алдымен оң бір полярлы тәж жағдайында иондардың қозғалғыштығы мәндерін эксперименталды түрде өлшеу мүмкіндіктерін қарастырамыз.

Нәтижелер мен талқылау

Осы мақсатта тәж разряды аймағындағы иондардың қозғалғыштығын өлшеуге арналған құрылғы әзірленді, ол разряд тоғының (I) және белгілі мәндерін пайдаланып есептеу арқылы иондардың (k) қозғалғыштығын анықтау әдісімен жүзеге асырылады. бірполярлы тәждің сыртқы аймағындағы өріс күшінің мәндері $[E(r)]$, бұл өз кезегінде R_2 радиусының сыртқы цилиндрі мен R_1 радиусының кейбір эквипотенциалды беті арасындағы потенциалдар айырмасынан (ΔU) анықталады. Ұсынылған құрылғыда ΔU потенциалдар айырымы үшін R_2 және R_1 сыртқы цилиндрлерінің радиустары бар екі цилиндрлік электродқа қолданылатын кернеу айырмасы ($U_2 - U_1$) екі цилиндрге бірдей радиустағы тәждік сымдарды орнатқан кезде және екі цилиндр арқылы өтетін тәждің меншікті токтары тең болған жағдайда қабылданады. Осылайша, иондардың қозғалғыштығын есептеу үшін келесі өрнек алынды:

$$k = \frac{I}{2\pi\epsilon_0[E^2(r)]} = \frac{I(R_2 - R_1)^2}{2\pi\epsilon_0(U_2 - U_1)^2} = \frac{I\Delta R^2}{2\pi\epsilon_0\Delta U^2} \quad 1$$

мұндағы r – ток радиусы;
 ϵ – диэлектрик тұрақтысы.

Иондардың қозғалғыштығын мұндай анықтау әдісі дамыған бірполярлы тәждің сыртқы аймағындағы электр өрісінің қасиетіне – өріс кернеулігінің практикалық тұрақтылығына негізделген.

Иондардың қозғалғыштығын анықтаудың ұсынылып отырған құрылғысы мен әдісінің негізгі кемшілігі - бұл үшін екі цилиндрлік разрядтық камера қолданылады, бұл камераларда бірдей атмосфералық жағдайларды қамтамасыз етпейді, бұл өлшемдердің дәлдігін айтарлықтай төмендетеді. Сондай-ақ өлшеу дәлдігіне электр өрісінің шеткі бұрмалануларын жоятын қорғаныс электродтарының болмауына байланысты сыртқы цилиндрдің әртүрлі радиустарындағы сымдардың тәжінің ұзындығының айырмашылығы қатты әсер етеді.

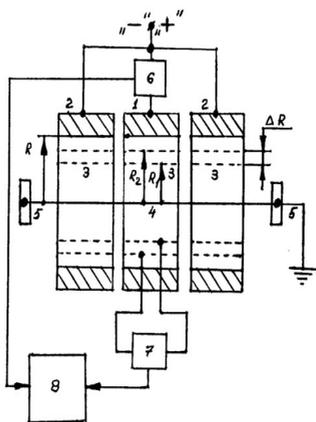
Тәж разрядының және қорғау электродтарының сыртқы аймағының разряд эквипотенциал беттерінде коаксиалды орналасқан цилиндрлер түріндегі тор электродтары бар неғұрлым сенімді және тиімді құрылғы әзірленді, пішіні мен өлшемі бойынша негізгіге бірдей, негізгі сыртқы цилиндрге коаксиалды екі жағында орналасқан және микропроцессормен және өрістің ток және потенциалдар айырмасының түрлендіргіштерімен жабдықталған [8].

Тәж разрядының сыртқы аймағында ΔR қашықтықта эквипотенциалды беттерде коаксиалды түрде орналасқан цилиндр түріндегі тор электродтары кеңістіктегі зарядтың табиғи таралуын бұзбай, кернеуді анықтауға мүмкіндік береді, бұл ретте өлшеу аймағы және екі цилиндр арқылы өтетін меншікті разрядтық токтардың теңдігі атмосфералық жағдайдың бірдей болуын қамтамасыз етеді. Пішіні мен өлшемі бойынша негізгіге ұқсас қорғаныс электродтарын қолдану электр өрісінің жиектерінің бұрмалануын болдырмайды, бұл сымның тәждік қимасының ұзындығының тұрақтылығына әкеледі. Үздіксіздігін қамтамасыз ету және өлшеу техникасын жеңілдету үшін ток түрлендіргіштерінің деректері мен өрістің потенциалдар айырымы бойынша және тұрақты ΔR коэффициентін ескере отырып, (1) формула бойынша иондардың қозғалғыштығын есептеуді жүзеге асыратын микропроцессор қолданылады.

1-суретте тәж разрядындағы иондардың қозғалғыштығын өлшеуге арналған құрылғының функционалдық диаграммасы көрсетілген. Ұсынылған құрылғыда негізгі сыртқы электрод 1 бар, оның екі жағында тор электродтары 3 бар қорғаныс электродтарымен 2 жабылған, сонымен қатар сыртқы электрод бар. Тәж сымы 4 екі ұшында ұстағыштармен 5 бекітіліп, содан кейін жерге тұйықталған. Тор электродтары 3 сыртқы цилиндрге және сымға коаксиалды орналасады және олардың орналасуы тәжірибе талабына сәйкес таңдалады. Ток түрлендіргіштерінің сигнал шығыстары 6 және өрістің

потенциалдар айырмасы 7 микропроцессордың 8 кірісіне қосылған, R_1 , R_2 және ΔR өлшемдері де көрсетілген.

Әзірленген құрылғы келесідей жұмыс істейді. Негізгі және қорғаушы электродтардың сыртқы цилиндрлеріне теріс немесе оң полярлықтың жеткілікті жоғары кернеуі берілгенде, олар мен сымның арасында тәжді разряд пайда болады, бұл бірполярлы разряд формасы болып табылады. Құрылғының жұмыс істеуі үшін қалыпты атмосфералық жағдайларда дамыған бірполярлы тәждің режимі қамтамасыз етілуі керек.



Сурет 1 – Тәждік разрядтағы иондардың қозғалғыштығын өлшеуге арналған құрылғы

Торлы электродтардың орналасуын таңдағаннан кейін негізгі электрод арқылы разрядтық токтың мәндері және торлы электродтардағы өрістің потенциалдар айырмасы өлшенеді, олар түрленуден кейін микропроцессорға енеді. Микропроцессорда алынған мән атмосфералық ауадағы тәж разрядындағы иондардың кейбір тиімді немесе нәтижелі (ток бойынша) қозғалғыштығына сәйкес болады.

Атмосфералық ауадағы иондардың қозғалғыштығын өлшеу келесі параметрлері бар құрылғының көмегімен орындалды: тәж сымның r радиусы 10-нан 50 мкм-ге дейін өзгерді, сыртқы цилиндрдің радиусы $R_2 = 7$ мм, ал $\Delta R = 2$ мм және $R_1 - 2, 4, 6$ мм; меншікті токтар 10, 30, 50 мкА/см; негізгі электродтың ені 1 см, ал одан қорғаныс электродтарына дейінгі қашықтық 1 мм; тәждің разряд аймағындағы шағын электродаралық қашықтықтарда E/r диапазондары 5-тен 15 В/см мм сын. бағ. Атмосфералық ауадағы

иондардың қозғалғыштығын өлшеу нәтижелері келесіні көрсетті: сымнан 2-ден 6,5 мм-ге дейінгі қашықтықта теріс иондардың қозғалғыштығының мәндері 5,94-тен 2,61 см² / В.с аралығында болады, ал оң иондар – 2,79-дан 1,54 см²/В.с дейін [9]. Иондардың қозғалғыштығын өлшеуден алынған нәтижелері негізінде бақылаудың жоғары дәлдігі мен сенімділігін, сонымен қатар пайдаланудағы қарапайымдылық пен ыңғайлылықты қамтамасыз ететін озонды бақылау әдісі және оны жүзеге асыруға арналған құрылғы ұсынылды [10]. Бұл жағдайда оң тәж разрядының дәйекті орналасқан учаскелері арқылы озоны бар ауаның біркелкі ағыны жасалады, ал бірінші бөлімде озоны бар ауа разрядтың оң көлемдік зарядымен әрекеттеседі, ал екінші бөлімде разряд бойынша ағын демпфер камерасы (озон сіңіргіш) арқылы енеді, содан кейін озон концентрациясын анықтау үшін екі разрядтық саңылаулардың жүктемелеріндегі кернеу потенциалы айырмасының шамасы қолданылады. Бірполярлы тәж аймағындағы әртүрлі иондардың қозғалғыштығының белгілі деректері мен өлшенген мәндерін талдау (1-кесте) және разрядта атомдық және молекулалық оттегі мен азот иондарының түзілу және жоғалу процестері жүргізілгенде, қарастырылатын болса, тәж разрядының озонметриялық сипаттамаларын анықтау керек. Осы мақсатта тәж аймағындағы иондардың орташа қозғалғыштығының сырттан келетін озон концентрациясына тәуелділігі қолданылады. Бұл ретте әзірленген озонметрлер [11] озон разряд аймағына сырттан енген кезде теріс және оң тәждегі иондардың орташа қозғалғыштықтарының өзгеруін салыстыру арқылы баланстық схема бойынша жұмыс жасайды. Сондықтан келіп түсетін озонның әсер ету механизмдерін және тәждің әртүрлі полярлықтары үшін орташа иондардың қозғалғыштығының өзгеру кинетикасын бөлек қарастырған жөн.

Белгілі болғандай [11], теріс зарядты тәж атмосфералық ауадан озон алу үшін пайдаланылады, ол әртүрлі модификациядағы тәжді разрядты озонаторларды жасауда жеткілікті түрде зерттелген. Бастапқыда разряд аралығының белгілі бір параметрлерінде теріс тәж аймағында түзілетін озон мөлшерін анықтау қажет болады.

Цилиндрдегі разряд аймағындағы токтың мәндері белгілі формулалармен анықталады [12]

$$I = 2\pi r k \rho e E = 2\pi r n e k E \quad (2)$$

мұндағы r – ток өлшенетін киманың радиусы, см, ρ – заряд тығыздығы Кл/см³, n – иондардың тығыздығы см⁻³, e – $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл тең электрон заряды, k – иондардың қозғалғыштығы, см²/В.с.

мұндағы r – ток өлшенетін қиманың радиусы, см, ρ – заряд тығыздығы Кл/см³, n – иондардың тығыздығы см⁻³, e – $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл тең электрон заряды, k – иондардың қозғалғыштығы, см²/В·с.

Тәж аймағында O , O_2^- , O_3^- – иондарының болуы туралы маңызды сұрақ жоғарыда аталған барлық иондар үшін орынды саналады, сәйкесінше n_1 , n_2 және n_3 тығыздығы бар тәж қабатының шекарасына арналады. Егер тәж сымының радиусы r_0 белгілі болса (біздің жағдайда ол $5 \cdot 10^{-3}$ см-ге тең), онда тәждік қабаттың шекарасы $r_1 = 0,3\sqrt{r_0}$ см формуласымен анықталады, онда ол см болады. 11-кесте негізінде, иондардың қозғалғыштығының мәндері үшін $k_1(O^-)=3,2$; $k_2(O_2^-)=2,24$; $k_3(O_3^-)=2,54$ см²/В·с алуға болады. Сонда тәж тогы үшін келесі өрнекті жазуға болады:

$$I = 2\pi r e E (k_1 n_1 + k_2 n_2 + k_3 n_3) \quad (3)$$

мұндағы $r=r_1$ және $E=E_1$. Тәж қабатының шекарасындағы өріс күші $E_0 r_0 = E_1 r_1$ теңдігінен анықталады. Біз қарастырып отырған жағдай үшін тәждің бастапқы өріс кернеулігі ($r_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ см) 140 кВ/см, онда $E_1 = 33,33$ кВ/см тең болады. Тәждік разряд тогының мәні үшін $1,66 \cdot 10^{-3}$ А/см қабылданады. Содан кейін келесі мәнді анықтауға болады:

$$k_1 n_1 + k_2 n_2 + k_3 n_3 = \frac{I}{2\pi r_1 e E_1} = 2,27 \cdot 10^{11} \quad (4)$$

Кейбір жорамалмен келесідегідей жазуға болады:

$$k_{cp} n = k_1 n_1 + k_2 n_2 + k_3 n_3 \quad (5)$$

мұндағы k_{cp} – иондардың орташа қозғалғыштығы, n – иондардың жалпы тығыздығы.

Электрондар мен иондардың түзілуі мен жоғалуының берілген элементарлық процестерін пайдалана отырып, атмосфералық ауадағы теріс тәж жағдайында барлық зарядталған және бейтарап оттегі атомдары мен молекулалары үшін үздіксіз теңдеулер жүйесін құрастыруға болады. Бұл теңдеулер жүйесін шешу көп еңбекті қажет етеді, өйткені элементар процестердің көптеген белгісіз параметрлерін анықтау қажет. Бұл ретте, осы теңдеулер жүйесін жалпы қарастыру келесі қорытындыларды жасауға мүмкіндік береді: разрядтың сыртқы аймағындағы электрон тығыздығының мәні аз ($> 7-8$ мм) және сыртқы электродта нөлге ұмтылады: О- аймақтары тәж қабатының шекарасына жақын жерде жоғары тығыздыққа ие (максималды

мүмкіндік), ол бірте-бірте азаяды: сыртқы электродтағы О-2 және О-3 иондарының тығыздығы тәждің жалпы разряд тогының 0,5 және 0,3 бөлігін құрайды. Қалыпты атмосфералық жағдайлар үшін бұл жағдайда О-, О-2, О-3 иондарының тығыздықтарының есептік есептеулері олардың арасындағы келесі қатынастарды береді [6]

$$\frac{[O_2^-]}{[O^-]} = 1,72; \quad \frac{[O_2^-]}{[O_3^-]} = 1,32; \quad \frac{[O_3^-]}{[O^-]} = 1,28 \quad (6)$$

Бланк заңына сәйкес [Мак-Даниель] иондардың үш түрі үшін мынаны жаза аламыз:

$$\frac{1}{k_{cp}} = \frac{n_1 k_2 k_3 + (1-n_1-n_3) k_1 k_3 + (1-n_1-n_2) k_1 k_2}{k_1 k_2 k_3} \quad (7)$$

Егер $n_1 + n_2 + n_3 = 1$ (n) қабылдаса, келесіні алуға болады:

$$\frac{1}{k_{cp}} = \frac{n_1}{k_1} + \frac{n_2}{k_2} + \frac{n_3}{k_3} \quad (8)$$

(6) қатынастарды пайдаланып, келесі алынады:

$$n_1 = 0,25n; \quad n_2 = 0,43n; \quad n_3 = 0,32n \quad (9)$$

Егер $n=1$ алсақ, онда иондардың орташа қозғалғыштығы үшін біз мынаны аламыз:

$$\frac{1}{k_{cp}} = \frac{0,25}{k_1} + \frac{0,43}{k_2} + \frac{0,32}{k_3} \quad (10)$$

Яғни, $k_{cp} = 2,54$ см²/В·с, ал жалпы ион тығыздығы:

$$n = \frac{2,27 \cdot 10^{11}}{2,54} = 0,9 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3} \quad (11)$$

Содан кейін (9) сәйкес иондардың тығыздығын анықтаймыз:

$$n_1 = 0,225 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}; \quad n_2 = 0,387 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}; \quad n_3 = 0,228 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$$

(4) формулада келтірілгендей, иондардың жеке түрлерінің қозғалғыштығы артқанда иондардың орташа қозғалғыштығы да артады. Сондықтан озон сырттан енген кезде иондардың қозғалғыштығының артуына әкелетін жеке элементарлық процестерді қарастыруымыз керек.

Теріс тәжде негізгі элементар процестерге оттегі атомдарының, молекулаларының және иондарының түрлену реакциялары жатады (2-кесте).

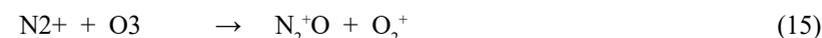
Кесте 1 – k_{cp} -ның жоғарылауына немесе төмендеуіне әкелетін реакциялар.

№	арттыру k_{cp}	төмендеу k_{cp}
1.	$O_3 + O_2^- \rightarrow O_2 + O_3^-$	$O_3 + O^- \rightarrow O + O_3^-$
2.	$O_3^- + N_2 \rightarrow O^- + O_2 + N_2$	$O_3 + O \rightarrow 2O_2$
3.	$O_3 + O_2 \rightarrow O_2 + O + O_2$	
4.	$O_3 + O(D) \rightarrow O_2 + O + O$	
5.	$O_3 + O_2 \left(\sum_a^+ \right) \rightarrow 2O_2 + O$	
6.	$O_3 + O_2 (\Delta d) \rightarrow 2O_2 + O$	

2-кестедегі деректер негізінде және басқа да белгілі реакцияларды ескере отырып, кестеде озонды сырттан беру кезінде тәж разряд аймағындағы иондардың орташа қозғалғыштығының жоғарылауына немесе төмендеуіне әкелетін реакциялардың екі тобы көрсетілген.

Осы кестеден көрініп тұрғандай, озонның сырттан енуінен, реакциялардың көпшілігі k_{cp} жоғарылауына әкеледі, бұл атомдық оттегінің және оның қозғалғыштығы жоғары иондарының түзілуімен байланысты. Сонымен қатар, озонның оттегі атомдарымен және молекулаларымен әртүрлі электрондық күйлері бар реакциялары (6) формулада берілген. Айта кету керек, озонмен соңғы реакциялар негізінен тәж қабатында немесе оның шекарасында жүреді.

Енді молекулярлық процестерді, оң тәж разрядының сыртқы бөлімінде озонның азот және оттегі иондарымен әрекеттесуі кезінде болатын процестерді қарастырайық [13]. Белгілі болғандай, оң тәж разрядындағы негізгі тасымалдаушылар O^+ , O_2^+ , N^+ , N_2^+ болып табылады, олар сырттан келетін озон молекулаларымен келесідегідей әрекеттеседі [6]



Егер бұрынғы және жаңадан түзілген иондардың қозғалғыштықтарының мәндерін ескерсек $O^+ -3,2$; $O_2^+ -2,24$; $O_3^+ -2,54$; $N^+ -3,3$; $N_2^+ -1,87$; $NO^+ -1,96$ см/В.с, тәж разрядының сыртқы бөлігіндегі иондардың орташа қозғалғыштығы (12-13) реакциялардың төмендеуіне, ал (14-15) реакциялардың жоғарылауына әкелетіні анық [14]. (12-13) реакциялар тек тәж электродына жақын тар аймақта өтетінін, сондықтан олардың жалпы разрядтық токқа қосқан үлесі шамалы екенін ескере отырып, ал (14-15) реакциялар тәж разрядының сыртқы аймағында жүріп, жалпы разрядтық токқа айтарлықтай үлес қосады.

Қорытынды

Разрядтық ток шамасының иондардың орташа қозғалғыштығының мәніне тікелей тәуелділігін ескере отырып, токтың ұлғаюынан разрядтық саңылау ішіндегі озонның көлемдік концентрациясын анықтауға болады.

Бұл ретте озон молекулаларының оң азот және оттегі иондарымен молекулалық реакциялары күрделі болатыны белгілі, өйткені олардың реакция константалары 10-30 смб/с аралығында болады. Сондықтан ұсынылған әдіс озонды оның жоғары концентрациясында бақылау үшін қолайлырақ, ал бөлмелердегі атмосфералық ауадағы озонның төмен концентрациясы кезінде оның сезімталдығы озонды бақылаудың дәлдігіне қойылатын талаптарға сәйкес келмейді.

Бақылаудың дәлдігі мен нәтижелердің сенімділігін арттыру үшін әдетте теңдестірілген өлшеу сұлбасы қолданылады, оның бір иінті теріс полярлық разряд саңылауы, ал екінші иінті оң полярлық разрядтық саңылау болып табылады және содан кейін екі разрядтық саңылаулардың жүктемелеріндегі кернеудің потенциалдар айырмасының шамасы бойынша озон концентрациясы бағаланады.

Осылайша, екі разрядтық токты салыстыру және оларды разряд саңылауларының жүктемелеріндегі кернеулердің потенциалдық айырмасы бойынша өлшеу разрядтардың электрлік сипаттамаларының, газ температурасы мен қысымының, сондай-ақ ағынның жылдамдығының өзгеруіне байланысты озонды бақылау қателіктерін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Бірінші разряд саңылауының разряд тогы құрамында озоны бар ауадағы озон концентрациясының өзгеруіне тура пропорционалды

өзгеретіндіктен, ауадағы бұрын белгілі озон концентрацияларына сәйкес шығыс құрылғысын калибрлеу қиын емес.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **McDaniel, E. W., Mason, E. A.** The mobility and diffusion of ions in gases [Text]. – N. Y. London-Sydney, –1973. – P. 372.
- 2 **Смирнов, Б. М.** Ионы и возбужденные атомы в плазме [Текст]. – Москва: Атомиздат, 1974. – 456 с.
- 3 **Попков, И. М.** О подвижности ионов в условиях коронного разряда [Текст] // Доклады АН СССР, 1947. – № 6. – С. 1043–1046.
- 4 **Ляпин, А. Г., Попков, В. И.** Измерение подвижности ионов в поле переходной униполярной короны. Преобразовательные устройства в электроэнергетике [Текст]. М. : Наука, 1964. – С. 93–102.
- 5 **Goldman, A., Haug, R., Latham, R. W. J.** Appl.Phys. [Text], 1976, – P. 2418–2423.
- 6 **Мак-Даниель, И.** Процессы столкновений в ионизованных газах [Текст]. Пер. с англ. - М. : Мир, 1967. – 832 с.
- 7 **Емельянов, Ю. М.** Непрерывный и безынерционный анализ газовых смесей с помощью коронного разряда [Текст]. А.с. 131908 (СССР), 1960. – № 18.
- 8 **Бахтаев, Ш. А.** Предпатент РК №8716. Устройство для измерения подвижности ионов в коронном разряде [Текст] // Оpubл. Бюлл. – №3, 15.03.2000
- 9 **Бахтаев, Ш. А., Бавлаков, В. Н., Яковенко, Т. Н.** Измерение подвижности ионов в зоне униполярной короны [Текст] //Известия АН КазССР, Сер.физ.-мат. – 1980. – №34. – С. 90–91.
- 10 **Бахтаев, Ш. А.** Предпатент РК №8711. Способ для контроля озона и устройство для его осуществления [Текст]. Оpubл. Бюлл. – № 3. 15.03.2000.
- 11 Новые коронные счетчики медленных нейтронов [Текст]. Атомная энергия, 1962. – С. 617–619.
- 12 **Тиходеев, Н. Н.** Дифференциальное уравнение униполярной короны и его интегрирование в простейших случаях [Текст]. ЖТФ, - 1955. – № 8. С. 1449-1457.
- 13 **Gernak, M., Skalny, S., Veis, S.** Asta.Phys.Slov, [Text]. 1979. Vol. 29, № 1 – P.31–38.
- 14 **Райзер, Ю. П.** Основы современной физики газоразрядных процессов [Текст]. – М. : Наука, – 1980. – 416 с.
- 15 **Филиппов, Ю. В., Вобликова, В. А., Пантелеев, В. И.** Электросинтез озона [Текст]. – М. : МГУ. – 1987, – 237 с.

REFERENCES

- 1 **McDaniel, E. W., Mason, E. A.** The mobility and diffusion of ions in gases [The mobility and diffusion of ions in gases] [Text]. – N.Y. London-Sydney, -1973. – p. 372.
- 2 **Smirnov, B. M.** Iony i vzbuzhdennye atomy v plazme.[Ions and excited atoms in plasma] [Text]. – Moscow: Atomizdat, 1974. – 456 p.
- 3 **Popkov, I. M.** O podvizhnosti ionov v usloviyah koronnogo razrjada [On ion mobility under corona discharge conditions] [Text] : Doklady AN SSSR, 1947. – № 6. – P. 1043–1046.
- 4 **Ljapin, A. G., Popkov, V. I.** Izmerenie podvizhnosti ionov v pole perehodoj unipoljarnoj korony [Measurement of ion mobility in the field of a transient unipolar corona] [Text] : Preobrazovatel'nye ustrojstva v jelektroenergetike. Moscow : Nauka, 1964. – P. 93–102.
- 5 **Goldman, A., Haug, R., Latham, R. W. J.** Appl.Phys. [Text], 1976, – P. 2418-2423.
- 6 **Mak-Daniel', I.** Processy stolknovenij v ionizovannyh gazah [Collision processes in ionized gases] [Text]. Per. s angl. – Moscow : Mir, 1967. – 832 p.
- 7 **Emel'janov, Ju. M.** Nepreryvnyj i bezynercionnyj analiz gazovyh smesej s pomoshh'ju koronnogo razrjada [Continuous and inertialess analysis of gas mixtures using corona discharge] [Text]. A.s. 131908 (SSSR), 1960. – № 18.
- 8 **Bahtaev, Sh. A.** Predpatent RK №8716. Ustrojstvo dlja izmerenija podvizhnosti ionov v koronnom razrjade [Device for measuring the mobility of ions in a corona discharge] [Text] : Opubl. Bjull. – № 3. 15.03.2000
- 9 **Bahtaev, Sh. A., Bavlakov, V. N., Jakovenko, T. N.** Izmerenie podvizhnosti ionov v zone unipoljarnoj korony [Measurement of ion mobility in the unipolar corona zone] [Text]: Izvestija AN KazSSR, Ser.fiz.-mat. – 1980. – №34. – P. 90–91.
- 10 **Bahtaev, Sh. A.** Predpatent RK №8711. Sposob dlja kontrolja ozona i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija [Method for ozone control and device for its implementation] [Text]. Opubl. Bjull. – № 3. 15.03.2000.
- 11 Novye koronnye schetchiki medlennyh nejtronov [New corona counters of slow neutrons] [Text]. Atomnaja jenergija, 1962. – P. 617–619.
- 12 **Tihodeev, N. N.** Differencial'noe uravnenie unipoljarnoj korony i ego integririrovanie v prostejshih sluchajah [The differential equation of the unipolar crown and its integration in the simplest cases] [Text]. ZhTF, – 1955. – № 8. – P. 1449-1457.
- 13 **Gernak, M., Skalny, S., Veis, S.** Asta.Phys.Slov, [Text]. 1979. Vol.29, № 1. – P. 31–38.

14 **Rajzer, Ju. P.** *Osnovy sovremennoj fiziki gazorazrjadnyh processov* [Fundamentals of modern physics of gas discharge processes] [Text]. – Moscow : Nauka, – 1980. – 416 p.

15 **Filippov, Ju. V., Voblikova, V. A., Panteleev, V. I.** *Jelektrosintez ozona* [Electrosynthesis of ozone] [Text]. – Moscow : MGU. – 1987. – 237 p.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

*Г. К. Сыдыкова, А. М. Айтуганова, А. Жансериковна

Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда

Принято к изданию 18.09.23.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОЗОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Для создания озонометрических устройств путем разработки и реализации метода наблюдения за озоном важно обеспечить, чтобы они отличались определенной высокой точностью, надежностью при простой и удобной работе. Результаты исследования показали, что наиболее эффективным способом измерения концентрации озона в атмосферном воздухе является их определение по подвижности ионов в корональном разряде. Поэтому сначала рассмотрим возможности экспериментального измерения значений подвижности ионов в условиях положительной униполярной короны.

Измерение концентрации озона является актуальным для физико-химии озона и технологии производства озона, а непрерывный контроль содержания озона в воздухе необходим и при подготовке бытовых и служебных помещений и лечебных мест к озонированию. Во всех случаях к озонометрам предъявляются требования к простоте их конструкции и высокой помехоустойчивости, удобству работы при точности измерений [15].

В данной работе предложен метод, более подходящий для контроля озона при его высоких концентрациях, позволяющий определить объемную концентрацию озона внутри разрядной щели из-за увеличения тока с учетом прямой зависимости величины разрядного тока от значения средней подвижности ионов. Для повышения точности наблюдений и надежности результатов использовалась сбалансированная схема измерения.

Ключевые слова: озон, корональный разряд, ионы, концентрация озона, схема измерения.

*G. K. Sydykova, A. M. Aituganova, A. Zhanserikkyzy

Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

Accepted for publication on 18.09.23

BASIC PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF OZONOMETRIC DEVICES

To create ozonometric devices by developing and implementing an ozone monitoring method, it is important to ensure that they are distinguished by a certain high accuracy, reliability with simple and convenient operation. The results of the study showed that the most effective way to measure the concentration of ozone in atmospheric air is to determine them by the mobility of ions in the coronal discharge. Therefore, we will first consider the possibilities of experimental measurement of ion mobility values under conditions of a positive unipolar corona.

Measurement of ozone concentration is relevant for the physical chemistry of ozone and ozone production technology, and continuous monitoring of ozone content in the air is also necessary when preparing household and office premises and medical places for ozonation. In all cases, ozonometers are subject to requirements for the simplicity of their design and high noise immunity, ease of operation with measurement accuracy [15].

In this paper, a method is proposed that is more suitable for monitoring ozone at its high concentrations, which makes it possible to determine the volume concentration of ozone inside the discharge slit due to an increase in current, taking into account the direct dependence of the discharge current on the value of the average mobility of ions. To improve the accuracy of observations and the reliability of the results, a balanced measurement scheme was used.

Keywords: ozone, corona discharge, ions, ozone concentration, measurement scheme.

<https://doi.org/10.48081/SJMV3294>

***К. Н. Тайсариева¹, Г. С. Джобалаева²,
А. А. Абдыкадыров³, А.Хабай⁴, Ж.Ш. Тәуірбек⁵**
^{1,2,3,4,5}Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Қазақстан, Алматы қ.
e-mail : g.jobalayeveva@satbayev.university

КЕЙІНГІ ҰРПАҚ ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ШАҒЫН ҰЯШЫҚТЫ ОРНАЛАСТЫРУДЫ ЗЕРТТЕУ

Қазіргі уақытта орналастырылған 4G сыртқы жылжымалы желілерінің көпшілігі макростарға негізделген. Алайда, макростатистика кең географиялық аймақтарды қамтитын тығыз қамтуды қамтамасыз ету қиын қысқа кідіріс уақыты және жоғары өткізу қабілеттілігі кейбір 5G қосымшалары үшін қажет етеді [1].

Бұл мақалада кең ауқымды ММО жүйелерінің спектрлік тиімділікті жақсартуы және шағын ұяшықтарды тығыз орналастыру және орналастыру кезінде туындайтын мәселелер, сонымен қоса 5G технологиясының өткізу қабілеттілігінің талаптарын қанағаттандыру қарастырылды. Шағын ұяшықтар қосымша спектрді бөледі қажет етпестен желінің өткізу қабілетін арттырады, бұл оларды жиілік спектрі аз операторлар үшін немесе спектр жеткіліксіз болған жағдайда тартымды етеді[3]. Сонымен қатар, салада қолданыстағы 4G желілерінің сапасын жақсарту мақсатында тығыз дамыған қалалық әсерлерде шағын ұяшықтарды орналастыру 5G технологиясы мен eMBB алғашқы қызметтерінің өткізу қабілеттілігіне қойылатын жоғары талаптарды қанағаттандыру зерттелді.

Бұл мақалада nrDLCarrierConfig функциясын қолдана отырып, жаңа NR радиотолқынының 5G төмен түсетін арнасының толқын пішінін қалай параметрлеу және модельдеу керектігі көрсетілген. MATLAB модельдеу ортасында 5G желісінде HDL-кодты генерациялау үшін бейімделген модель құрылды. Бірінші кезекте бұл 5G New Radio (NR) сигналдарын генерациялау, нәтижесінде төмен жиіліктегі қалыптасқан сигналдың есептеулері алынды. Бұл жағдайда F-OFDM сигналдарын генерациялау бойынша осы құралдың мүмкіндіктері қарастырылды.

Кілтті сөздер: 5G, шағын ұяшықтар, ММО, New Radio (NR) антенна, өткізу қабілеті.

Кіріспе

Соңғы уақытта көп елдерде реттеуші органдар мен жергілікті өзін-өзі басқару органдарының саясаты операторларға шамадан тыс әкімшілік және қаржылық міндеттемелерді жүктеу арқылы шағын ұяшықтарды орналастыруға кедергі келтіруде, бұл инвестицияға кедергі келтіреді. Бұл шектеулер ұзақ рұқсат беру процедураларын, ұзақ сатып алу процедураларын, шамадан тыс алымдарды және қолжетімділікке кедергі келтіретін ережелерді қамтиды[2]. Оларға тоқтала кетсек:

Арнайы жерлерге рұқсат беру және жоспарлау процедуралары.

Жергілікті үкіметтің шағын ұяшықтарды қолдану жоспарларын бекітуі 18–24 айға созылуы мүмкін, бұл кідірістерге әкеледі.

Ұзақ келіссөздер мен сатып алу процедуралары.

6 айдан 18 айға дейін созылатын ұзақ сатып алу процедураларынан кейін ғана жергілікті үкіметтер сымсыз байланыс қызметтерін жеткізушілерге сыртқы жабдыққа шағын ұялы жабдықты орнатуға ерекше құқықтар береді, бұл қосымша уақыт пен шығынға әкеледі.

– Көше жабдықтарына қол жеткізу үшін жоғары төлемдер. Қазіргі уақытта жергілікті өзін-өзі басқару органдары көше жабдықтарын пайдаланғаны үшін жоғары ақы алады. Американдық тұтынушылар институтының мәліметі бойынша, бір қалада шам бағанына шағын ұялы жабдықты орнатқаны үшін 30 мың АҚШ доллары көлемінде комиссия алынады.

– Радиожиілік электромагниттік өрістердің (ЭМӨ) адамға әсері. белгіленеді және кейбір жағдайларда олар шектен тыс шектеледі. МӨС (Медициналық-әлеуметтік сараптама) ұсынымына сәйкес, егер радиожиілік электромагниттік өрістің (РЖ ЭМӨ) рұқсат етілген шекті деңгейлері болмаса немесе тиісті жиіліктерді қамтымаса, иондамайтын сәулеленуден қорғау жөніндегі халықаралық комиссия (ICNIRP) белгілеген шектерді пайдалану керек[4,5]. Егер жаңа антенналар қосылса, жауап беру кезеңінде қоғамды алаңдататын кез келген мәселелерге жауап беру үшін барлық қажетті тұрақты шаралар қабылдануы керек. Осындай алаңдаушылық тудыратын факторлардың бірі-антенналардың, әсіресе шатырлардың көрінуі. Көрнекі әсерді азайту үшін шатырлардағы антенналардың бірдей санын сақтай отырып, көп жолақты антенналарды қолдануға болады. Спектрді пайдалану немесе технологияны қайта құру стратегиясы болмаған жағдайда, 5G желісі кем дегенде өтпелі кезеңде радиотехнологиядан туындаған локализацияланған әсерді арттырады. Сондықтан ұлттық директивалық органдарды 5G желісін өрістету және оны іске қосу тәсілдері, сондай-ақ

ұлттық шектеулерге сәйкестікті бағалау мен қамтамасыз етудің неғұрлым тиімді әдістері туралы шешім қабылдаудың ерте сатысында қосу маңызды. Бұл әсер ету шегі Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (ДДСҰ) РЖ ЭМӨ1-ге қатысты ICNIRP дайындаған. Бірақ радиожелілердің мемлекет берген шегі нұсқаулар негізінде ұсынғаннан гөрі шектеулі болатын бірнеше елдерде қиындықтар туғызды.

– Кодекске сәйкес қол жетімділік және құқықтар. Сымсыз байланыс операторлары шам бағаналары сияқты сыртқы жабдыққа шағын ұяшықтарды немесе радио жабдықтарын орнатуға құқылы болмауы мүмкін. Мысалы, Ұлыбританияда бұл шектеулерді жеңу үшін кодекске өзгертулер енгізілді, яғни оларды қолдануға мемлекет кез келген сәтте қарсы болуы мүмкін.

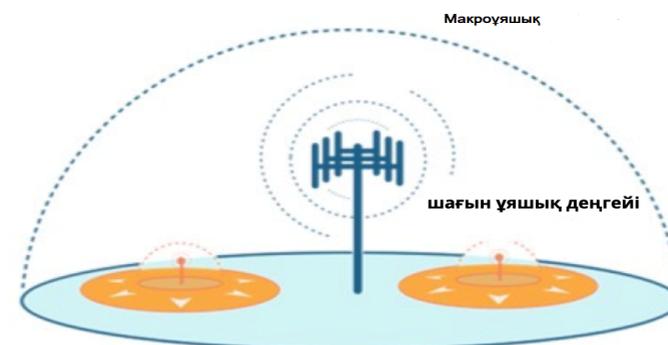
Материалдар мен әдістер

Жалпы әлемдік деңгейде келісілген жиілік спектрін анықтау және бөлу үшін әлемдік қауымдастықтың, аймақтық телекоммуникация ұйымдарының және NRO үйлестіру қажет. NRO үшін бұл 5G желілерін сәтті орналастырудағы ең үлкен қиындықтардың бірін білдіреді. Келісілген таратудың көптеген артықшылықтары бар, өйткені ол шекара бойындағы радио кедергілерді азайтады, халықаралық роумингті жеңілдетеді және жабдықтың құнын төмендетеді. Мұндай жалпы үйлестіру Дүниежүзілік радиобайланыс конференцияларын (ДРК) өткізу барысында МӘСК-тің негізгі міндеті болып табылады[6].

5G желілерін бастапқы орналастыру үшін дамыған елдердегі бірқатар NRO 700 МГц, 3,4 ГГц және 24 ГГц жолақтарын осындай желілердің қамту және өткізу қабілеттілігі талаптарын қанағаттандыра алады деп санайды.

Сондай-ақ, қолда бар спектрді тиімді бөлісу туралы мәселені қарастыру қажет. Дәстүр бойынша, NRO ұялы байланыс операторларына спектрді ерекше негізде бөледі. Алайда, жиіліктерге деген қажеттіліктің артуына байланысты, қолда бар спектрді пайдалану тиімділігін арттырудың бір әдісі оны бөлісу яғни бірнешеге бөле отырып қолдану болуы мүмкін. Сонымен қатар, 5G желілері үшін, әсіресе 24 ГГц-тен жоғары жиілік диапазонында спектрді лицензиялау және пайдалану модельдерін қарастыру қажет. Дәстүр бойынша, тар жолақтарға (5 МГц, 10 МГц, 20 МГц және т.б.) бөлінген жылжымалы жиілік спектрі тапшы, сондықтан аукцион бағасының өсуіне әкелуі мүмкін[5].

Шағын ұяшықтарды орналастыру қолданыстағы 4G желілерінің өткізу қабілеті мен сапасын арттырудың және коммерциялық 5G желілері мен алғашқы eMBB қызметтерінің негізін қалаудың бір әдісін ұсынады. Кейбір сымсыз байланыс операторлары қазірдің өзінде 4G желілерін өткізу қабілетін арттыру және қамту үшін шағын ұяшықтарды пайдаланады, әсіресе тығыз қалалық даму жағдайын атап айтсақ болады[7,9].



Сурет 1 – 5G желілерін өткізу қабілетін арттыру және қамту үшін шағын ұяшықтар

Шағын ұяшықтар қосымша спектрді бөлуді қажет етпестен желінің өткізу қабілетін арттырады, бұл оларды жиілік спектрі аз операторлар үшін немесе спектр жеткіліксіз болған жағдайда тартымды етеді. Сонымен қатар, салада қолданыстағы 4G желілерінің сапасын жақсарту мақсатында тығыз дамыған қалалық жерлерде шағын ұяшықтарды орналастыру 5G технологиясы мен eMBB алғашқы қызметтерінің өткізу қабілеттілігіне қойылатын жоғары талаптарды қанағаттандыруға ықпал етуі мүмкін. Шағын ұяшықтар тығыз жабуды қамтамасыз етуі керек болғандықтан, олардың антенналарын көше инфрақұрылымының элементтеріне – автобус аялдамаларына, шам бағдаршамдарына, бағдаршамдарға және т.б. орнатуға тура келеді [10].

2-суретте шам бағанасына орнатылған антенна жүйесі және соған сәйкес сыртқы шкаф көрсетілген.

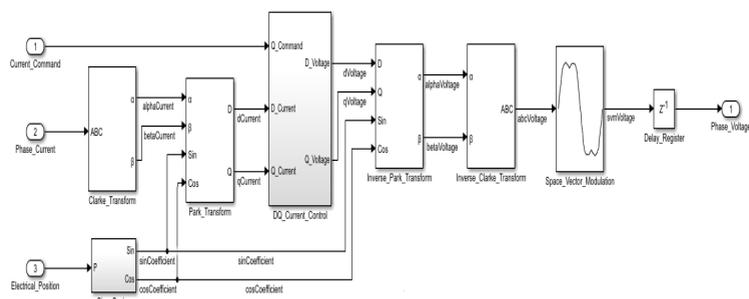


Сурет 2 – Шағын ұяшықтарды және сыртқы шкафты қолдайтын антенна жүйесі

Кең ауқымды MIMO (Multi-Input/Multi-Output) жүйелері деректер жылдамдығын арттыратын және қуатты тиімді тасымалдау үшін қажет сәулененуді қолдайтын жүздеген немесе тіпті мыңдаған антенналарды қамтиды. Кең ауқымды MIMO жүйелері спектрлік тиімділікті жақсартады және шағын ұяшықтарды тығыз орналастырумен бірге операторларға 5G технологиясының өткізу қабілеттілігі талаптарын қанағаттандыруға көмектесе алады[9].

Нәтижелермен талқылау

MATLAB-Simulink ортасында 5G желісінде HDL-кодты генерациялау үшін бейімделген модель құруға болады. Осы жүйенің моделі 3 -суретте келтірілген.



Сурет 3 – 5G желісінде HDL-кодты генерациялау

Әрі қарай біз 5G-ші буындағы стандартты жиілік-уақыттық қорлар торын қарастырамыз және магистральдық байланыстың физикалық арнасының құрылысына сәйкес құрылған сигналдардың генерациясын қарастырамыз.

Бұл мақалада `nrDLCarrierConfig` функциясын қолдана отырып, жаңа NR радиотолқынның 5G төмен түсетін арнасының толқын пішінін қалай параметрлеу және модельдеу керектігі көрсетілген. Жасалған толқын пішінінде осы арналар мен сигналдар бар.

PDSCH және оның байланысты DM-RS және PTRS;

PDCCH және оның байланысты DM-RS;

PBCH және оның байланысты DM-RS;

PSS және SSS;

RS CSI.

Толқын пішіні және тасымалдаушы параметрі `nrDLCarrierConfig` пайдаландық, нысан жолақты сигнал генерациясын параметрлеу үшін жасалды. Бұл нысанда толқын пішінінің арналарына сәйкес келетін қосымша нысандар жиынтығы бар және сигнал береді және тасымалдаушының төмен конфигурация параметрлерін орнатуға мүмкіндік береді. [3]

Бұл параметр үшін DL тасымалдаушысын белгіледік.

Ресурс блоктарындағы SCS тасымалдаушы өткізу қабілеттілігі.

Carrier ұяшығының идентификаторы.

Ішкі кадрларда пайда болған толқын пішінінің ұзындығы.

Терезелермен жұмыс.

OFDM модуляцияланған толқын пішінінің үлгі жиілігі.

Символдық фазаны өтеу үшін тасымалдаушы жиілігі

`nrSCSCarrierConfig` нысанының `NStartGrid` және `NSizeGrid` сипаттарын пайдаланып SCS тасымалдаушысының өткізу жолақтары мен қорғау жолақтарын басқаруға болады. [3]

Сигналды синхрондау бумасының (SS) параметрлерін орнатуға болады. SS пакетінің нумерологиясы толқын пішінінің басқа бөліктерінен өзгеше болуы мүмкін. Бит массиві 5 мс жартылай координаттар жүйесін пакетке жіберу үшін блоктарды орнатады. Сондай-ақ, жиілікті миллисекундтармен және пакеттің дәрежесімен орнатуға болады. Конфигурацияланатын SS толық тізімі қасиеттерді бұзғандықтан, `nrWavegenSSBurstConfig` аламыз.

Стандартты үйлесімді қалай жасау керектігі көрсетілген 5G сынақ модельдері NR (NR-TMs) және жоғары және төмен арна 1 (FR1) жиілік диапазоны мен 2 (FR2) жиілік диапазоны үшін бекітілген сілтеме арналары (FRCs). N RTM және FRC сигналдарын генерациялау үшін N RTM немесе FRC атауын, арнаның өткізу қабілеттілігін, қосалқы тасымалдаушылар арасындағы қашықтықты және дуплексті режимді орнатуға болады[3,7,8].

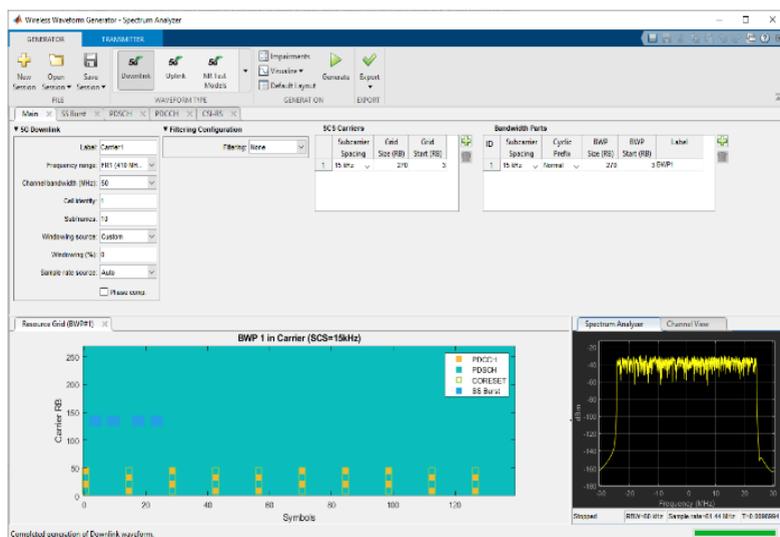
5G Waveform generator қолданбасын ашамыз. MATLAB® құралдар тақтасының Apps қойындысында сигналдарды өңдеу және байланыс кезінде 5G Waveform generator қолданбасының белгішесін басыңыз. Бұл қолданба 5G сигналдарын генерациялау үшін конфигурацияланған Wireless Waveform generator қолданбасын ашады. NR толқынның 5G формасын таңдаймыз.

Қолданбаның құралдар тақтасындағы Waveform Type бөлімінде жасағыңыз келетін толқын пішінін басыңыз. Осы толқын пішіндерінің бірін таңдаймыз.

- 5G Downlink;
- 5G Uplink;
- 5G Test Models;
- 5G Downlink FRC;
- 5G Uplink FRC.

Модельдеу нәтижесінде NR толқынның 5G формасы алынды. Таңдалған толқын пішініне байланысты қолданба таңдалған толқын пішінінің параметрлерін орнатуға болатын белгілі бір қойындыларды ұсынады. Қолданбаның құралдар тақтасында, generation бөлімінде нашарлауды қосуға және таңдалған толқын пішініне қолданылатын визуализация құралдарын орнатуға болады. Таңдалған бейнелеу құралдарында толқын пішінін көрсету үшін Generate түймесін басамыз.

5G бейнелеу нәтижелерін көрсетеді толқын пішіні әдепкі параметрлерді қолдана отырып, NR арнасының төмендеуі көрсетілген.



Сурет – 4 Модельдеу нәтижесінде NR толқынның 5G формасы

4 – суретте 5G бейнелеу нәтижелерін толқын пішіні әдепкі параметрлерді қолдана отырып, NR арнасының төмендеуі көрсетілген.

3GPP 5G NR стандарты стандартқа сәйкестігін тексеру мақсатында толқын пішінінің сілтемелері мен параметрлерін орнатады. Сәйкестік толқынының төмендеу формаларының екі нақты түрі nr (NR-TM) сынақ модельдері болып табылады, базалық станция (BS) мақсатында RF тестілеу, және пайдаланушының аппараттық құралын (UE) енгізу сынағы үшін төмен қарай бекітілген сілтеме арналарын (FRC) жібереді.

Олар RF тест мәндері саласында қолданылады, соның ішінде:

- BS шығыс қуаты;
- Туралау қатесін синхрондау (TAE);

- Алып жатқан жолақтың эмиссиясы;
- Іргелес арнаның ағып кету коэффициенті (ACLR);
- Операциялық жолақ қалаусыз эмиссия;
- Таратқыш жанама эмиссия;
- Таратқыштың интермодуляциясы.

Қорытынды

Шағын ұяшықтар пайдаланушыларға 5G талап ететін кеңейтілген мобильді кең жолақты, төмен кідіріс пен сенімді қызметпен қамтамасыз ету үшін жақсы шешім болып табылады. Жоғары ретті модуляция әдістері, MIMO технологиясы және миллиметрлік толқын спектрі шағын ұяшықтарды орналастыруда, жақсы қызмет көрсету сапасын қамтамасыз етеді.

Кең ауқымды MIMO жүйелері спектрлік тиімділікті жақсартады және шағын ұяшықтарды тығыз орналастырумен бірге операторларға 5G технологиясының өткізу қабілеттілігі талаптарын қанағаттандыруға көмектесе алады. 5G желілерінен талап етілетін тығыз қамту мен жоғары өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ету үшін, сымсыз байланыс операторлары 5G қол жеткізу желілерін тығыздау үшін, халық тығыз орналасқан қалалық жерлерде шағын ұяшықтарды орналастырады.

ПАДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТЗІМІ

1 X. Ge, L. Pan, S. Tu, H. -H. Chen and C. -X. Wang, «Wireless Backhaul Capacity of 5G Ultra-Dense Cellular Networks,» 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Montreal, QC, Canada, 2016, P. 1–6, doi: 10.1109/VTCFall.2016.7881969.

2 M. Condoluci, M. Dohler, G. Araniti, et al., «Toward 5G DenseNets: Architectural Advances for Effective Machine-Type Communications over Femtocell,» IEEE Commun. Mag., Vol. 53, Vol. 1, P. 134–141, Jan. 2015.

3 [Электрондық ресурс] – <https://www.mathworks.com>

4 [Электрондық ресурс] – <https://shalaginov.com/>

5 Hur, S.; Kim, T.; Love, D.J.; Krogmeier, J.V.; Thomas, T.A.; Ghosh, A. Millimeter Wave Beamforming for Wireless Backhaul and Access in Small Cell Networks. IEEE Trans. Comm 2013, 61, 4391–4403

6 Ai, N.; Wu, B.; Li, B.; Zhao, Z. 5G Heterogeneous Network Selection and Resource Allocation Optimization Based on Cuckoo Search Algorithm. Comput. Commun. 2021, 168, 170–177.

7 Saleem, R.; Bilal, M.; Chattha, H.T.; Rehman, S.U.; Mushtaq, A.; Shafique, M.F. An FSS based multiband MIMO system incorporating 3D antennas for WLAN/WiMAX/5G cellular and 5G Wi-Fi applications. IEEE Access 2019

8 **Jehangir, S.S.; Sharawi, M.S.** A compact single-layer four-port orthogonally polarized Yagi-like MIMO antenna system. IEEE Trans. Antennas Propag. 2020

9 **J. Hoydis, M. Kobayashi and M. Debbah**, «Green Small-Cell Networks,» IEEE Vehic. Tech. Mag., Vol. 6, No. 1, pp. 37–43, March 2011.

10 **C. Dehos, J. L. Gonzalez, A. D. Dmoenico, D. Ktennas and L. Dussopt**, «Millimeter-Wave Access and Backhauling: The Solution to the Exponential Data Traffic Increase in 5G Mobile Communications Systems?» IEEE Commun. Mag., Vol. 52, No. 9, pp. 88–95, Sept. 2014

REFERENCES

1 **X. Ge, L. Pan, S. Tu, H. -H. Chen and C. – X. Wang**, «Wireless Backhaul Capacity of 5G Ultra-Dense Cellular Networks,» 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Montreal, QC, Canada, 2016, P. 1-6, doi: 10.1109/VTCFall.2016.7881969.

2 **M. Condoluci, M. Dohler, G. Araniti**, et al., «Toward 5G DenseNets: Architectural Advances for Effective Machine-Type Communications over Femtocell,» IEEE Commun. Mag., Vol. 53, No. 1, P. 134–141, Jan. 2015.

3 [Electronic resource] – <https://www.mathworks.com>

4 [Electronic resource] – <https://shalaginov.com/>

5 **Hur, S., Kim, T., Love, D. J., Krogmeier J. V., Thomas, T. A., Ghosh, A.** Millimeter Wave Beamforming for Wireless Backhaul and Access in Small Cell Networks. IEEE Trans. Comm. 2013, 61, 4391–4403

6 **Ai, N.; Wu, B.; Li, B.; Zhao, Z.** 5G Heterogeneous Network Selection and Resource Allocation Optimization Based on Cuckoo Search Algorithm. Comput. Commun. 2021, 168, 170–177.

7 **Saleem, R., Bilal, M., Chattha, H.T., Rehman, S.U., Mushtaq, A. Shafique, M.F.** An FSS based multiband MIMO system incorporating 3D antennas for WLAN/WiMAX/5G cellular and 5G Wi-Fi applications. IEEE Access 2019

8 **Jehangir, S. S., Sharawi, M. S.** A compact single-layer four-port orthogonally polarized Yagi-like MIMO antenna system. IEEE Trans. Antennas Propag. 2020

9 **J. Hoydis, M. Kobayashi and M. Debbah**, «Green Small-Cell Networks,» IEEE Vehic. Tech. Mag., Vol. 6, No. 1, pp. 37–43, March 2011.

10 **C. Dehos, J. L. Gonzalez, A. D. Dmoenico, D. Ktennas and L. Dussopt**, «Millimeter-Wave Access and Backhauling: The Solution to the Exponential Data Traffic Increase in 5G Mobile Communications Systems?» IEEE Commun. Mag., Vol. 52, No. 9, P. 88–95, Sept. 2014

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

***К. Н. Тайсариева¹, Г. С. Джобалаева², А. А. Абдыкадыров³,**

Ж. А. Хабай⁴, Ш. Тәуірбек⁵

^{1,2,3,4,5}ҚазНІТУ имени К.И. Сатпаева, Қазақстан, Алматы.

Принято к изданию 18.09.23.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕРТЫВАНИЕ МАЛЫЕ СОТЫ В СЕТЯХ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

В настоящее время большинство установленных наружных макросоты мобильных сетей основаны на 4G. Однако макростатистика показывает, что трудно достичь плотного покрытия, охватывающего обширные географические районы, поскольку для некоторых приложений 5G требуется короткое время задержки и высокая пропускная способность.

В этой научной статье рассматриваются улучшения в спектральной эффективности крупномасштабных систем технологии ММО и недостатки и преимущества при установке малых сот, а также удовлетворения требований к пропускной способности технологии 5G.

Малые соты увеличивают пропускную способность сети, не требуя дополнительного выделения спектра, что делает их преимущественным даже для операторов с ограниченным спектром.

Кроме того, чтобы улучшить качество существующих 4G сетей, было исследовано вопросы установки малых сот в густонаселенных городских районах для удовлетворения требований к высокой пропускной способности технологии 5G и первых услуг eMBB.

В этой статье с помощью функции nrDLCarrierConfig смоделировано радиоволны NR 5G и показано как параметризовать формы волны канала. В среде MATLAB была создана имитационная модель для генерации HDL-кода в сети 5G.

Прежде всего, это генерация сигналов 5G New Radio (NR), в результате были получены расчеты генерируемого низкочастотного сигнала. При этом были рассмотрены возможности этого инструмента для генерации сигналов F-OFDM.

Ключевые слова: 5G, малые соты, ММО, New Radio (NR), антенна, пропускная способность.

A STUDY OF SMALL CELL PLACEMENT IN NEXT GENERATION NETWORKS

Currently, most of the installed outdoor macro mobile networks are based on 4G. However, macro statistics show that it is difficult to achieve dense coverage covering vast geographic areas because some 5G applications require short latency and high bandwidth [1].

This research paper discusses improvements in the spectral efficiency of large-scale MIMO technology systems and the disadvantages and advantages of small cell installations, as well as meeting the bandwidth requirements of 5G technology. Small cells increase network capacity without requiring additional spectrum allocation, making them advantageous for even operators with limited spectrum [3]. In addition, to improve the quality of existing 4G networks, the installation of small cells in densely populated urban areas was investigated to meet the requirements for high bandwidth 5G technology and the first eMBB services.

In this paper, using the function nrDL CarrierConfig simulated NR 5G radio waves and showed how to parameterize the channel waveforms. In MATLAB environment a simulation model was created for HDL code generation in the 5G network. First of all, it is the generation of 5G New Radio (NR) signals, resulting in calculations of the generated low-frequency signal. At the same time the possibilities of this tool for generating F-OFDM signals were considered.

Key words: 5G, small cells, MIMO, New Radio (NR), antenna, throughput.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Адамова Айгуль Дюсенбиновна, Ассистент профессор, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aika_pavl@mail.ru

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, Компьютерлік ғылымдар кафедрасы, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Аксёнов Виктор Иванович, магистрант, «Электрэнергетика» кафедраның, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: vik7or57@qmail.com

Анарбекова Галия Абаевна, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: galiya2810@mail.ru

Акишев Қаршыға Мақсұтович, техника ғылымдарының кандидаты, ассоц. профессор, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akmail04cx@mail.ru

Акаев Асан Сабырович, Реактордан тыс сынақтар бөлімінің бастығы, ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты филиалы, Курчатov қ., Қазақстан Республикасы, 071100, e-mail: akaev@nnc.kz

Алимова Жанар Сагидуллаевна, постдокторант, Торайғыров университеті, компьютерлік ғылымдар факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: jarasovajanar@mail.ru

Аяп Рүстем, техника және технология бакалавры, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: astanchanin_kz@mail.ru

Арипова Назгуль Михайловна, Жылуэнергетика кафедрасының докторанты, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazgul_2010@mail.ru

Ашимова Айгуль Кенжибаевна, «Электрэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Сәтбаев университеті, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050000, Республика Казахстан, e-mail: Ashimova_ak@mail.ru

Алибекқызы Карлыгаш, PhD, қауымд. профессор, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., 070016, Қазақстан Республикасы, e-mail: karlygash.elcusizova@mail.ru

Атякшева Александра Владимировна, доцент, Жылуэнергетика кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: sahsa77@mail.ru

Айтуғанова Айша Меңлібайқы, педагогика ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mag_zhan97@mail.ru

Абдықадыров Асқар Айтмырзаұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗ», Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.abdykadyrov@satbayev.university

Әмірбек Динара Әмірбекқызы, аға оқытушы, Торайғыров университеті, Энергетика факультеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: amirbek_dinara87@mail.ru

Байжарикова Марина, техника ғылымдарының кандидаты, м.а. асоц. проф, ТРУ имени М.Х. Дулати, Тараз қ., 080000, Қазақстан Республикасы, e-mail: marina.2288@mail.ru

Бектасова Асемгуль Айтпаевна, «Электроэнергетика» мамандығы бойынша докторант, Сәтбаев университет, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050000, Республика Казахстан, e-mail: Bektasova_aa@mail.ru

Бермағамбетов Жәнібек Шектебайұлы, магистрант, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы

Байдилдина Айжан Толеубековна, PhD, қауымд. профессор, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., 70016, Қазақстан Республикасы, e-mail: atj-43@mail.ru

Баубек Асқар Апошұлы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Көлік-энергетика» факультеті Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: baubek.as@mail.ru

Бахтияр Балжан Торепашқызы, Жылуэнергетика кафедрасы, қауымд. профессоры. С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: bahtyar.baljan@mail.ru

Бекзұлда Нұрғиса Ғалымжанұлы Электр энергетикасы (Жаңартпалы энергетика)» мамандығы бойынша магистрант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Бергузинов Асхат Нұрланұлы, PhD, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: askhat.berguzinov@mail.ru

Бекмулдин Максат Қуатбекович, эксперименттік жылу физикасы зертханасының бастығы, ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты филиалы, Курчатов қ., 071100, Қазақстан Республикасы, e-mail: bekmuldin@nnc.kz

Бекмағамбетова Гүлмира Кенжеғазықызы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Қазақ технология және бизнес университеті Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g_bek@mail.ru

Даутбеков Мерхат Курметович PhD, докторант, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: merkhatd@gmail.com

Долгов Максим Викторович, Жылу энергетикасы мамандығының докторанты, көлік-энергетика факультеті, Еуразия ұлттық университеті Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Динмуханбетова Айгуль Жумагельдыевна, PhD, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ardi100909@mail.ru

Джобалаева Гулим Сасановна «Телекоммуникация» мамандығы бойынша докторант, Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.jobalayeveva@satbayev.university

Джусупова Эльмира Маратовна, аға оқытушы, Computer Science факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, mika_28@mail.ru

Гриков Александр Михайлович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазан мемлекеттік энергетикалық университеті, Казань, 420000, Ресей Федерациясы, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Глазырин Сергей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, көлік-энергетика факультеті, Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Герасименко Татьяна Сергеевна, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: melary-5@mail.ru

Ердыбаева Назгуль Кадырбековна, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ Атомдық және дәстүрлі энергетикалық технологиялар мектебі, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: nerdybaeva@ektu.kz

Жалмағамбетова Ұлтуар Қайырболатқызы, PhD, қауымд. профессоры, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ultuara@mail.ru

Жуспекова Нургуль Жумагазиевна, физика, математика және аспап жасау білім беру бағдарламасының аға оқытушысы, «Computer Science» факультеті, 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Zhuspiekova72@mail.ru

Жұмағұлов Михаил Григорьевич, PhD, техника ғылымдарының кандидаты, профессор м.а., «Көлік-энергетика» факультеті, Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Жұматаев Нұрлыбек Шақайұлы, «ANSA Silicon» ЖШС техникалық кремний өндіру зауытының бас энергетигі, Торайғыров университеті, Электр энергетикасы кафедрасының докторанты, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhumataev_04@mail.ru

Жансерікқызы Ақнұртехника ғылымдарының магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhanserikkyzy@mail.ru

Жартыбаева Макпал Галымбековна, PhD, Доцент, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: makkenskii@mail.ru

Жакупова Камила Мухитовна, Компьютерлік ғылымдар және инженерия мамандығы бойынша магистрант, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhakupova.kamila@gmail.com

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, «Электрэнергетика» кафедраның постдокторанты, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Казанбаева Альбина Советовна, PhD, Постдокторант Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akazanbaeva83@mail.ru

Карпов Валерий Иванович, техника ғылымдарының докторы, профессор К. Г. Разумовский атындағы Мәскеу мемлекеттік технология және басқару университеті, Мәскеу қ., 101000, Ресей, email: Vikarp@mail.ru

Қасым Руслан Тоқтасынұлы, сениор – лектор, магистр, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

Керибаева Талшын Бақытжанқызы, Докторант, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ. 050039 Қазақстан Республикасы, e-mail: talshyn.keribayeva@agakaz.kz

Кошекков Кайрат Темирбаевич, Техника ғылымдарының докторы, профессор, АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы», Алматы қ. 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Кошкин Игорь Владимирович, техника ғылымдарының кандидаты, Электр энергетикасы кафедрасының доценті, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: elektroenergetika@mail.ru

Казамбаев Ансар Маратович, студент, Электроэнергетика кафедрасы, Энергетика факультет, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail : kazambaevansar@gmail.com

Камалова Гүлзада Нышанбекқызы педагог зерттеуші, Қызылорда қаласының Ы. Алтынсарин атындағы №10 мектеп лицейі, Қызылорда, 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Колесников Евгений Николаевич, PhD, Постдокторант, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

Колесниченко Николай Юрьевич, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Академик Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты", Инженерлік-экономикалық факультеті, Екібастұз, 141208, Қазақстан Республикасы, e-mail: kolesnichenko-n-yu@eiti.edu.kz,

Крутус Сергей Федорович, техника ғылымдарының кандидаты, доцент Мекеме "Академик Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты", Инженерлік-экономикалық факультеті, Екібастұз қ., 141208, Қазақстан Республикасы, e-mail: krutous-s-f@eiti.edu.kz

Кұрманбаев Ғалымжан Бекзұлдаұлы техника ғылымдарының кандидаты, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Казамбаев Ильяс Маратулы «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Ғылыми-Инновациялық Орталығы қ. Astana IT University Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: i.kazambaev@astanait.edu.kz

Кириченко Лалита Николаевна «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., Ғылыми-Инновациялық Орталығы қ. Astana IT University Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: lalita17021996@gmail.com

Калтаев Абдулла Габдылманапулы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: abdulla911@mail.ru

Калтаев Абдулла Габдылманапулы, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: abdulla911@mail.ru

Кинжибекова Акмарал Кабиденовна, техника ғылымдарының кандидаты, «Жылуэнергетика» кафедрасының доценті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: akmaral70@mail.ru

Карманов Амангельды Ерболович, PhD, «Жылуэнергетика» кафедрасының доценті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aman270685@mail.ru

Кәкімжанов Дәуір Нұржанұлы, PhD докторанты, «Plasmascience» ЖШС, Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: dauir_97@mail.ru

Колисниченко Олег Викторович техника ғылымдарының кандидаты, Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институтының аға ғылыми қызметкері. Украина ҰҒА, Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты Киев қ., 03680, Киев қ., Украина, e-mail: okolis@i.ua

Марковский Вадим Павлович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымды профессоры (доцент), «Электрэнергетикасы» кафедрасының меңгерушісі, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: wadim54@mail.ru

Махамбаева Индира Утепбергенқызы, Физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: indira_mah@mail.ru

Мануковский Анатолий Васильевич, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: man-av@yandex.ru

Машрапов Бауыржан Ерболович, PhD, постдокторант, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Республика Казахстан, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Машрапова Ризагуль Мегданиятовна, PhD, қауым. профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: rizka1504@mail.ru

Мартыненко Екатерина Александровна, докторант, «Жылу энергетика», білім беру бағдарламасы Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Атомдық және дәстүрлі энергетикалық технологиялар мектебі, Өскемен қ., 070004, Қазақстан Республикасы, e-mail: Kirichkek@mnc.kz

Мерғалимова Алмагуль Каирбергеновна, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жылу энергетика кафедрасының меңгерушісі, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович, ассоц. профессор, доцент, С. Сейфуллин атындағы, Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: barton.kz@mail.ru

Мименбаева Айгуль Биляльевна, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Aigulka79_79@mail.ru

Меирбекова Оксана Даировна, аға оқытушы, Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: oksana_120183@mail.ru

Новожилов Александр Николаевич, техника ғылымдарының докторы, Электр энергетикасы кафедрасының профессоры, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 14000, Қазақстан Республикасы, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Новожилов Тимофей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, «Өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтау» кафедрасының доценті, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы, e-mail: timokvey@mail.ru

Нурбекова Айман Хафизовна, аға оқытушы С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ. 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Aimannha@mail.ru

Никамбаева Нургул Нуроллаевна, аға оқытушы, қолданбалы математика және информатика магистрі, «Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ. 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: nnnurgul1980@mail.ru

Нефтисов Александр Витальевич, PhD, Industry 4.0 Ғылыми-Инновациялық Орталығы, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: alexandr.neftisov@astanait.edu.kz

Никифоров Александр Степанович, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aleke4599@mail.ru

Өмірбекова Зарина Маратқызы, аға оқытушы, магистр, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: z.omirbekovna@alt.edu.kz

Оралбекова Жанар Орымбаевна, PhD, Доцент, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: oralbekova@bk.ru

Оспанова Назира Нұрғазықызы, педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazira_n@mail.ru

Огаркова Анастасия Игоревна, Магистр, докторант, А. Байтұрсынов атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Костанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы, e-mail: ogarkova.anastasia@mail.ru

Плевако Анжела Петровна, аға оқытушысы, «Энергетика» факультеті «Жылуэнергетика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Приходько Евгений Валентинович, Техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: john1380@mail.ru

Рахадиллов Бауыржан Корабаевич «Plasmascience» ЖШС директоры, PhD, қауымд. профессор, «Plasmascience» ЖШС, Өскемен қ., 070010, Қазақстан Республикасы, e-mail: rakhadilovb@gmail.com

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, постдокторант, «Электротехника және автоматтандыру» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dilara83@mail.ru

Рустамов Насим Тулегенович, техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: nasim52@mail.ru

Сәрсенбаев Ерлан Алиасқарұлы, PhD, Кафедра меңгерушісі, Энергетика кафедрасы, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, email: y.sarsenbayev@satbayev.university

Семенюк Владислав Владимирович, Аға оқытушы, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы, e-mail: Evdimid@mail.ru

Сериков Тансауле Габдымананович, PhD, қауымд. профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Сағындық Әйгерім Бекенқызы, PhD, қауымд. профессор Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiko_90@mail.ru

Сәрсікеев Ермек Жасланұлы, PhD, электр жабдықтарын пайдалану кафедрасының меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru

Сыдыкова Гүлнар Құдайбергенова, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Инженерлі-технологиялық институты, Қызылорда қ., 020000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sydykova77@mail.ru

Темирбулатов Карим Рашидович, «Электрэнергетика» кафедраның магистранты, Энергетика факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: karim.aftermath@gmail.com

Түлегулов Амандос Дабысұлы, ф.м.ғ.к., ассоц. профессор, қауымд. профессор, Ақпараттық технологиялар кафедрасын меңгеруші, Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tud62@yandex.ru

Талипов Олжас Манарбекович, PhD, профессор, Энергетика факультеті, Торайғыров Университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: talipov1980@mail.ru

Тайсариева Кырмызы Нурлановна, PhD, қауымд. профессор, Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.taisariyeva@satbayev.university

Тәуірбек Жамал Шыңғысқызы «Телекоммуникация» мамандығы бойынша магистрант, Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Алматы қ., 050005, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhamalrustemqyzy@gmail.com

Туркач Андрей Александрович, эксперименттік жылу физикасы зертханасының инженері, ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты филиалы, Курчатов қ., 071100, Қазақстан Республикасы, e-mail: turkach@nnc.kz

Турсынғалиева Гулим Нурлановна, аға оқытушы, Е. А. Букетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы, 100000, e-mail: Tursyngaliyeva_gulim@buketov.edu.kz

Толегонова Арай Сарсенғалиевна, аға оқытушы, техника ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: balgyn.bek.2018@gmail.com

Тленшиева Ақмарал Абдрасилқызы, докторант, аға ғылыми қызметкер С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akmaral.tlenshiyeva@mail.ru

Ұзаққызы Нүргүл, Доцент, PhD, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nura_astana@mail.ru

Өтегұлов Арман Болатбекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессоры, «Электрмен жабдықтау» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: utegulov76@mail.ru

Уразаев Днислам Булатович, «Компьютерлік ғылымдар және инженерия» мамандығы бойынша магистрант, Astana IT University, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: dnislam.urazayev@gmail.com

Хабай Анар, PhD, қауымд. профессор, Қ. И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Автоматика және ақпараттық технологиялар институты, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.khabay@satbayev.university

Шарипова Салтанат Еркиновна, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: salta_pvl@bk.ru

Шакенов Қалижан Бақытжанұлы, PhD, қауымд. профессор, Энергетика кафедрасы, Энергетика және машина жасау институты, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.shakenov@satbayev.university

Ыбрай Сұлтан Барлымбайұлы, аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Жылуэнергетика» кафедрасы, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: sultan_energy@mail.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Адамова Айгуль Дюсенбиновна, Ассистент профессор, Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: aika_pavl@mail.ru

Аканова Акерке Сапаровна, PhD, ст. преподаватель, кафедра «Компьютерные науки», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Аксёнов Виктор Иванович, магистрант, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: vik7or57@qmail.com

Анарбекова Галия Абаевна, докторант, кафедра «Компьютерные науки», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: galiya2810@mail.ru

Акишев Каршыға Максutowич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, email: akmail04cx@mail.r

Акаев Асан Сабырович, начальник отдела вне реакторных испытаний, филиал Институт атомной, энергии НЯЦ РК, Республика Казахстан, Курчатov, 071100, e-mail: akaev@nnc.kz

Алимова Жанар Сагидуллаевна, постдокторант, Факультет компьютерных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: jarasovajanar@mail.ru

Аяп Рустем, бакалавр техники и технологии, Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: astanchanin_kz@mail.ru

Арипова Назгуль Михайловна, докторант кафедра «Теплоэнергетика» Торайғыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: nazgul_2010@mail.ru

Ашимова Айгуль Кенжибаевна, докторант, специальность «Электроэнергетика», «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева», Институт Энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Ashimova_ak@mail.ru

Алибекқызы Карлыгаш, PhD, ассоц. профессор, ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: karlygash.elcusizova@mail.ru

Атякшева Александра Владимировна, доцент, кафедра «Теплоэнергетики» Казахский исследовательский сельскохозяйственный

университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: sahsa77@mail.ru

Айтуганова Айша Менлибайован, магистр педагогических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: mag_zhan97@mail.ru

Абдыкадыров Аскар Айтмырзаевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, Института автоматизации и информационных технологий, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.abdykadyrov@satbayev.university

Әмірбек Динара Әмірбекқызы, ст. преподаватель, Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: amirbek_dinara87@mail.ru

Бектасова Асемгуль Айтпаевна, докторант по специальности «Электроэнергетика», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Институт Энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: Bektasova_aa@mail.ru

Байжарикова Марина, и.о. ассоц. проф, ТРУ имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080000, Республика Казахстан, e-mail: marina.2288@mail.ru

Бермагамбетов Жанибек Шектебаевич, Магистрант, Костанайский региональный университет имени А.Байтұрсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан

Байдилдина Айжан Төлеубековна, PhD, ассоц. профессор, ВКТУ имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, 070016, Республика Казахстан, e-mail: atj-43@mail.ru

Баубек Аскар Апошевич, кандидат технических наук, доцент, Факультет транспортно-энергетический, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: baubek.as@mail.ru

Бахтияр Балжан Торепашкызы, доцент, кафедра «Теплоэнергетика» Казахский исследовательский сельскохозяйственный университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: bahtyar.baljan@mail.ru

Бекзүлда Нургиса Галымжанұлы Магистрант, специальность «Электроэнергетика (Возобновляемая энергетика)», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Барукин Александр Сергеевич, PhD, ассоц. профессор, Торайғыров университет, Факультет энергетика, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Бергузинов Асхат Нурланович, PhD, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Бекмүлдин Максат Қуатбекович, начальник лаборатории экспериментальной теплофизики, Филиал Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, 071100, Республика Казахстан, e-mail: bekmuldin@nnc.kz

Бекмагамбетова Гульмира Кенжегазиевна, PhD, ассоц. профессор (доцент), доктор Казахский университет технологий и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: g_bek@mail.ru

Даутбеков Мерхат Курметович Докторант, 3 курс, специальность «Теплоэнергетика», ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070010 Республика Казахстан, e-mail: merkhatd@gmail.com

Долгов Максим Викторович, докторант, специальность «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет, Факультет Транспортно-энергетический, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Динмуханбетова Айгуль Жумагельдыевна, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетика, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ardi100909@mail.ru

Джобалаева Гулим Сасановна докторант, специальность «Телекоммуникация» КазНИТУ имени К.И.Сатпаева, Института автоматизации и информационных технологий, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: g.jobalayeveva@satbayev.university

Джусупова Эльмира Маратовна, ст. преподаватель, Факультет Computer Science, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: mika_28@mail.ru

Грибков Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, 420000, Российская Федерация, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Глазырин Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Евразийский национальный университет, Факультет Транспортно-энергетический, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Герасименко Татьяна Сергеевна, кандидат технических наук, ст. преподаватель Казахского агротехнического университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: melary-5@mail.ru

Ердыбаева Назгуль Кадырбековна, доктор физико-матем.наук, ВКТУ имени Серикбаева, Школа технологий атомной и традиционной энергетики, г. Усть-каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: nerdybaeva@ektu.kz

Жалмагамбетова Ултуар Каирбулатовна, PhD, ассоц. профессор, кафедра «Электротехники и автоматизации», Факультет Энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ultuara@mail.ru

Жуспекова Нургуль Жумагазиевна, Магистр физики, ст. преподаватель образовательной программы физики, математики и приборостроения, Факультет «Computer Science», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Zhuspiekova72@mail.ru

Жумагулов Михаил Григорьевич, PhD, кандидат технических наук, и.о. профессора, транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Жуматаев Нурлыбек Шакаевич, главный энергетик завода по производству технического кремния ТОО «ANSA Silicon», докторант, кафедра «Электроэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: zhumataev_04@mail.ru

Жансериковна Акнур, магистр технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: zhanserikyzy@mail.ru

Жартыбаева Макпал Галымбековна, PhD, Доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: makkenskii@mail.ru

Жакупова Камила Мухитовна, магистрант по специальности «Компьютерные науки и инженерия», Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: zhakupova.kamila@gmail.com

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, постдокторант, кафедра «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Казанбаева Альбина Советовна, PhD, Постдокторант, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан, e-mail: akazanbaeva83@mail.ru

Карпов Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, Московский Государственный университет технологии и управления имени К. Г. Разумовского, г. Москва, 101000, Россия, email: Vikarp@mail.ru

Қасым Руслан Тоқтасынұлы, сениор – лектор, магистр, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

Керibaева Талшын Бақытжанқызы, Докторант, АО «Академия Гражданской Авиации», Алматы қ., 050039, Республика Казахстан, e-mail: talshyn.keribaeva@agakaz.kz

Кошекoв Кайрат Темирбаевич, Доктор технических наук, профессор, АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Кошкин Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», Костанайский региональный университет имени А.Байтұрсынова», г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: elektroenergetika@mail.ru

Казамбаев Ансар Маратович, Студент, Кафедра «Электроэнергетики», Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: kazambaevansar@gmail.com

Камалова Гульзада Нышанбековна, педагог исследователь, школа-лицей №10 имени Ы. Алтынсарина, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Колесников Евгений Николаевич, PhD, Постдокторант, кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет, Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

Колесниченко Николай Юрьевич, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерно-экономический, Экибастузский инженерно-технический институт имени академика К. Сатпаева, г. Экибастуз, 141208, Республика Казахстан, e-mail: kolesnichenko-n-yu@eiti.edu.kz

Крутоус Сергей Федорович, кандидат технических наук, доцент, Факультет инженерно-экономический, Экибастузский инженерно-технический институт имени академика К. Сатпаева, г. Экибастуз, 141208, Республика Казахстан, e-mail: krutous-s-f@eiti.edu.kz

Курманбаев Галымжан Бекзулдаулы, кандидат технических наук, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Казамбаев Ильяс Маратулы, докторант, специальность Автоматизация и управление, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0 Astana IT University, г. Астана, 01000, Республика Казахстан, e-mail: i.kazambaev@astanait.edu.kz

Кириченко Лалита Николаевна, докторант, специальность «Автоматизация и управление», Казахский агротехнический университет

им. С.Сейфуллина, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0 Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: lalita17021996@gmail.com

Калтаев Абдулла Габдылмананұлы, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: abdulla911@mail.ru

Кинжибекова Акмарал Кабиденовна, кандидат технических наук, ассоц. профессор кафедры «Теплоэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: akmaral70@mail.ru

Карманов Амангельды Ерболович, PhD, ассоц. профессор кафедра «Теплоэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: aman270685@mail.ru

Какимжанов Дауир Нуржанович, докторат, 3 курс, ВКТУ имени Д. Серикбаева, ТОО «Plasmascience», г. Усть-Каменогорск, 070010, Республика Казахстан, e-mail: dauir_97@mail.ru

Колисниченко Олег Викторович, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник Института электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины., Института электросварки имени Е. О. Патона, г. Киев, 036800, Украина e-mail: okolis@i.ua

Марковский Вадим Павлович, кандидат технических наук, Заведующий кафедрой «Электроэнергетика», ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: wadim54@mail.ru

Махамбаева Индира Утепбергеновна, Кандидат физико-математических наук, ассоц. профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологический институт, г. Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: indira_mah@mail.ru

Мануковский Анатолий Васильевич, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Торайғыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: man-av@yandex.ru

Машрапов Бауыржан Ерболович, PhD, постдокторант, Торайғыров университет, Факультет энергетики, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Машрапова Ризагуль Мегданиятовна, PhD, ассоц. профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: rizka1504@mail.ru

Мартыненко Екатерина Александровна, докторант образовательной программы «Теплоэнергетика», ВКТУ имени Серикбаева, Школа технологий атомной и традиционной энергетики, г. Усть-каменогорск, 070004, Республика Казахстан, e-mail: Kirichek@mnc.kz

Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна, заведующая кафедрой Теплоэнергетики, Казахского агротехнического исследовательского университета имени С.Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович, ассоц. профессор, доцент, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: barton.kz@mail.ru

Мименбаева Айгуль Биляльевна, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Aigulka79_79@mail.ru

Меирбекова Оксана Даировна, ст. преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Хожди Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: oksana_120183@mail.ru

Новожилов Александр Николаевич, профессор кафедра «Электроэнергетика», доктор технических наук, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Новожилов Тимофей Александрович, доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», кандидат технических наук, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644000, Российская Федерация, e-mail: timokvey@mail.ru

Нурбекова Айман Хафизовна, ст. преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: Aimannha@mail.ru

Никамбаева Нургул Нуроллаевна, Ст. преподаватель, магистр прикладной математики, «Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетова», г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: nnnurgul1980@mail.ru

Нефтисов Александр Витальевич, PhD, Научно-Инновационный Центр Industry 4.0 Astana IT University, 010000, г. Астана, Республика Казахстан, e-mail: alexandr.neftisov@astanait.edu.kz

Никифоров Александр Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан, e-mail: aleke4599@mail.ru

Өмірбекова Зарина Маратқызы, Ассистент-преподаватель, магистр, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: z.omirbekovna@alt.edu.kz

Оралбекова Жанар Орымбаевна, PhD, Доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: oralbekova@bk.ru

Оспанова Назира Нургазыевна, кандидат педагогических наук, доцент, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: nazira_n@mail.ru

Огаркова Анастасия Игоревна, Магистр, докторант, Костанайский региональный университет имени А.Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан, e-mail: ogarkova.anastasia@mail.ru

Плевако Анжела Петровна ст. преподаватель, факультет «Энергетики», кафедра «Теплоэнергетика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140003, Республика Казахстан

Приходько Евгений Валентинович, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Теплоэнергетика» Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: john1380@mail.ru

Рахадиллов Бауыржан Корабаевич, Директор ТОО «Plasmascience», PhD, ассоц. профессор, ТОО «Plasmascience», г. Усть-Каменогорск, 070010 Республика Казахстан, e-mail: rakhadilovb@gmail.com

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, Постдокторант, кафедра «Электротехника и автоматизация, Торайғыров университет, Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: Di_lara83@mail.ru

Рахимбердинова Дилара Муратовна, PhD, Postdoctoral student of the Department of Electrical Engineering and Automation, «Electric Power Engineering», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, email: Di_lara83@mail.ru

Рустамов Насим Тулегенович, доктор технических наук, ст. преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Хожди Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: nasim52@mail.ru

Сарсенбаев Ерлан Алиаскарович, PhD, заведующий кафедры «Энергетика» КазННТУ имени К.И.Сатпаева, Институт Энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: y.sarsenbayev@satbayev.university

Семенюк Владислав Владимирович, Ст. преподаватель, Северо-Казахстанский университет имени М. Козы-баева, г. Петропавловск, 150000. Республика Казахстан, e-mail: Evdimid@mail.ru

Сериков Тансауле Габдыманович, PhD, ассоц. профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Сагындык Айгерим Бекенкызы, PhD, ассоц профессор, Факультет энергетики, г Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: aiko_90@mail.ru

Сарсикеев Ермек Жасланович, PhD, заведующий кафедрой «Эксплуатации электрооборудования» Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: sarsikeev.ermek@yandex.ru

Сыдыкова Гульнар Кудайбергеновна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Инженерно-технологически-й институт, Кызылорда, 020000, Республики Казахстан, e-mail: sydykova77@mail.ru

Темирбулатов Карим Рашидович, магистрант кафедры «Электроэнергетика», Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: karim.aftermath@gmail.com

Тулегулов Аамандос Дабысович, к.ф.м.н., ассоц. профессор, заведующий. кафедрой «Информационные технологии», Казахский университет технологии и бизнеса, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: ud62@yandex.ru

Талипов Олжас Манарбекович, PhD, профессор, Факультет энергетики, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: talipov1980@mail.ru

Тайсариева Кырмызы Нурлановна, PhD, ассоц. профессор, КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Института автоматизации и информационных технологий, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: k.taisariyeva@satbayev.university

Таурбек Жамал Шынгыскызы, магистрант, специальность «Телекоммуникация», КазННТУ, имени К. И. Сатпаева, Институт Автоматизации и информационных технологии, г. Алматы, 050005, Республика Казахстан, e-mail: zhamalrustemqyzy@gmail.com

Туркач Андрей Александрович, инженер лаборатории экспериментальной теплофизики, филиал Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, 071100, Республика Казахстан, e-mail: turkach@nnc.kz

Турсынғалиева Гулим Нурлановна, Ст. преподаватель Карагандинский университет имени Е. А.Букетова, г. Караганда, Республика Казахстан, 100000 e-mail: Tursyngaliyeva_gulim@buketov.edu.kz

Толгенова Арай Сарсенғалиевна, ст. преподаватель, кандидат технических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: balgyn.bek.2018@gmail.com

Тленшиева Акмарал Абдрасиловна, докторант, ст. науч. сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akmaral.tlenshiyeva@mail.ru

Узаккызы Нургуль, Доцент, PhD, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, 010008, Республика Казахстан, e-mail: nura_astana@mail.ru

Утегулов Арман Болатбекович, кандидат технических наук, ассоц. профессор, кафедра «Электроснабжение», «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина», г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: utegulov76@mail.ru

Уразаев Днислам Булатович, магистрант по специальности «Компьютерные науки и инженерия», Astana IT University, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: dnislam.urazayev@gmail.com

Хабай Анар, PhD, ассоц. профессор, КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Институт Автоматизации и информационных технологии, Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.khabay@satbayev.university

Шарипова Салтанат Еркиновна, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010000, Республика Казахстан, e-mail: salta_pvl@bk.ru

Шакенов Калижан Бахытжанович, PhD, ассоц. профессор кафедры, «Энергетика» КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Институт Энергетики и машиностроения, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: k.shakenov@satbayev.university

Ыбрай Султан Барлымбайулы, ст. преподаватель, кафедра теплоэнергетики, Казахский аграрный исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, 010011, Республика Казахстан, e-mail: sultan_energy@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Adamova Aigul Dusenbinovna, Assistant Professor, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aika_pavl@mail.ru

Akanova Akerke Saparovna, PhD, Senior lecturer, Department of Computer Science, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, 010000, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akerkegansaj@mail.ru

Aksenov Viktor Ivanovich, master student, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: vik7or57@qmail.com

Anarbekova Galiya Abayevna, PhD doctor, student, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: galiya2810@mail.ru

Akishev Karshyga Maksutovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, email: akmail04cx@mail.ru

Akayev Asan Sabyrovich, Head of Out-of-Pile Test Department, Institute of Atomic Energy Branch NNC RK, Kurchatov, 071100, Republic of Kazakhstan, e-mail: akaev@nnc.kz

Alimova Zhanar, postdoctoral fellow, Toraighyrov University, Faculty of Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: jarasovajanar@mail.ru

Aya Rustem, Bachelor of Engineering and Technology, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: astanchanin_kz@mail.ru

Aripova Nazgul Mikhailovna, doctoral student, Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazgul_2010@mail.ru

Ashimova Aigul, doctoral student in «Electric Power Industry», Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Ashimova_ak@mail.ru

Alibekkyzy Karlygash, PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070016, Republic of Kazakhstan, e-mail: karlygash.eleusizova@mail.ru

Atyaksheva Alexandra Vladimirovna, assistant professor, Department of Heat Power Engineering, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical university, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: sahsa77@mail.ru

Aituganova Aisha Menlibaikyzy, Master of degree in Pedagogical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mag_zhan97@mail.ru

Abdykadyrov Askar, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Institute of Automation and Information Technologies, Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.abdykadyrov@satbayev.university

Amirbek Dinara Amirbekkyzy, senior lecturer, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: amirbek_dinara87@mail.ru

Bektassova Assemgul, doctoral student in «Electric power industry», Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Bektassova_aa@mail.ru

Baizharikova Marina, Dulat University, Taraz, 080000, Republic of Kazakhstan, e-mail: marina.2288@mail.ru

Bermagambetov Zhanibek Shektebaevich, student, Kostanay regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan

Baidildina Aizhan, PhD, associate professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070016, Republic of Kazakhstan, e-mail: atj-43@mail.ru

Baubek Askar Aposhevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Faculty of Transport and Energy, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: baubek.as@mail.ru

Bakhtiyar Balzhan Torepashkyzy, Kazakh Agricultural Research University named after S. Seifullin, associate professor of the Department of Thermal Energy, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: bahtyar.baljan@mail.ru

Bekzulda Nurgisa Galymzhanuly Korkyt Ata Master's student in the specialty «Electric power industry (Renewable energy)», Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Barukin Aleksandr Sergeevich, PhD, Associate Professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexbarukin@mail.ru

Berguzinov Askhat Nurlanovich, PhD, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Bekmuldin Maksat Kuatbekovich, Head of Experimental Thermal Physics Laboratory, Institute of Atomic Energy Branch NNC RK, Kurchatov, 071100, Republic of Kazakhstan, e-mail: bekmuldin@nnc.kz

Bekmagambetova Gulmira, PhD, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g_bek@mail.ru

Dautbekov Merkhata Kurmetovich, doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: merkhata@gmail.com

Dinmukhanbetova Aigul Zhumageldyevna, PhD, Associate, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ardi100909@mail.ru

DJobalayeva Gulim Sasanovna, doctoral student in «8D06201–Telecommunications, Satbayev University, Institute of Automation and Information Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.jobalayeva@satbayev.university

Jussupova Elmira Maratovna, Senior lecturer, Faculty of Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: mika_28@mail.ru

Gribkov Michailovich Alexander, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Kazan State Energy University, Kazan, 420000, Russian Federation, e-mail: gribkovalmi@mail.ru

Glazyrin Sergey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Faculty of Transport and Energy L. N Gumilyov, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: glan-sergey@yandex.ru

Gerassimenko Tatyana Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: melary-5@mail.ru

Dolgov Maxim Viktorovich, doctoral student in Heat Power Engineering, Faculty of Transport and Energy, Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: maxwellhousebest@yandex.ru

Yerdybayeva Nazgul Kadyrbekovna, doctor of Physic-Mathematical Sciences, Professor, School of Nuclear and Conventional Energy Technologies, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: nerdybaeva@ektu.kz

Zhalmagambetova Ultuar Kairbulatovna, PhD, Associate Professor Department of Electrical Engineering and Automation, Faculty Power Engineers, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ultuara@mail.ru

Zhuspekova Nurgul Zhumagazievna, Master of Physics, Senior Lecturer in the educational program of Physics, Mathematics and Instrumentation, Faculty Computer Science, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Zhuspekova72@mail.ru

Zhumagulov Mikhail Grigorievich, PhD, Candidate of Technical Sciences, Acting Professor, Faculty of Transport and Energy, L. N Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mikelike2000@yandex.kz

Zhumataev Nurlybek Shakaevich, chief power engineer Plant for the Production of Technical Silicon LLP «ANSA Silicon», doctoral student,

Department of Electric Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhumataev_04@mail.ru

Zhanserikkyzy Aknur, Master of Technical Sciences, Korkyt Ata Kyzylorda University, Institute of Engineering and Technology, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhanserikkyzy@mail.ru

Zhartybayeva Makpal Galymbekovna, PhD, Assistant Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: makkenskii@mail.ru

Zhakupova Kamila Muhitovna, Graduate student in Computer Science and Engineering, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhakupova.kamila@gmail.com

Issabekov Dauren Dzhabulovich, PhD, postdoctoral fellow, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Kazanbayeva Albina Sovetovna, PhD, Postdoctoral fellow, North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akazanbaeva83@mail.ru

Karpov Valery Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky, Moscow, 101000, Russian Federation, email: Vikarp@mail.ru

Kassym Ruslan Toktasynuly, Master, senior lecturer, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kasym.ruslan@gmail.com

Keribayeva Talshyn, doctoral student, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: talshyn.keribayeva@agakaz.kz

Koshekov Kairat, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Koshkin Igor Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering, Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: elektroenergetika@mail.ru

Kazambaeyv Ansar Maratovich, student, Department of Electric Power Industry, Faculty Power Engineers, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kazambaevansar@gmail.com

Kamalova Gulzada Nyshanbekovna teacher researcher, Lyceum School № 10 named after Y. Altynsarin, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Колесников Евгений Николаевич, PhD, «Electric Power Engineering», Postdoctoral student Department of Electrical Engineering and Automation,

Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: jeka89_pvl@mail.ru

Kolesnichenko Nikolay Yuryevich, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Faculty of Engineering and Economics, «Ekibastuz Engineering and Technical Institute named after Academician K. Satpayeva», Ekibastuz, 141208, Republic of Kazakhstan, e-mail: kolesnichenko-n-yu@eiti.edu.kz

Krutous Sergey Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Engineering and Economics, Ekibastuz Engineering and Technical Institute named after Academician K. Satpayeva, Ekibastuz, 141208, Republic of Kazakhstan, e-mail: krutous-s-f@eiti.edu.kz

Kurmanbaev Galymzhan Bekzuldauly, Candidate of Technical Sciences, Institute of Engineering and technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: gkurmanbayev@mail.ru

Kazambayev Ilyas Maratuly, doctoral student in «Automation and Control» S. Seifullin, Kazakh Agrotechnical University, Industry 4.0 Research and Innovation Center, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: i.kazambaev@astanait.edu.kz

Kirichenko Lalita Nikolayevna, doctoral student in «Automation and Control» S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana c.Industry 4.0 Research and Innovation Center, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: lalita17021996@gmail.com

Kaltayev Abdulla Gabdylmanapuly, Associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: abdulla911@mail.ru

Kinzhibekova Akmaral Kabidenovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmaral70@mail.ru

Karmanov Amangeldy Erbolovich, PhD, Associate Professor, Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: aman270685@mail.ru

Kakimzhanov Daur Nurzhanovich Doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Plasmascience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: dauir_97@mail.ru

Kolisnichenko Oleg Viktorovich, D. in Engineering, Senior Researcher E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine., E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: okolis@i.ua

Markovskiy Vadim Pavlovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Head of the Department of Electric Power Engineering, Faculty of

Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: wadim54@mail.ru

Makhambayeva Indira Utebergenovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Engineering and Technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: indira_mah@mail.ru

Manukovskiy Anatoliy Vassilyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Energetics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: man-av@yandex.ru

Mashrapov Bauyrzhan Erbolovich, PhD, postdoctoral student, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bokamashrapov@mail.ru

Mashrapova Rizagul Megdaniyatovna, PhD, Associate Professor, Faculty of Energy, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: rizka1504@mail.ru

Martynenko Yekaterina Alekandrovna, doctoral student in «Heat Power Engineering», School of Nuclear and Conventional Energy Technologies D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, 070004, Republic of Kazakhstan, e-mail: Kirichkek@nnc.kz

Mergalimova Almagul Kairbergenovna, Head of the Department of Thermal Power Engineering, Kazakh Agrotechnical Research University S. Seifullin, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: almagul_mergalimova@mail.ru

Mehdiyev Ali Dzhavanshovich, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: barton.kz@mail.ru

Mimenbayeva Aigul, Senior lecturer, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Aigulka79_79@mail.ru

Meirbekova Oxana Dairovna, Senior Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: oksana_120183@mail.ru

Novozhilov Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of «Electric Power Engineering», Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: novozhilova_on@mail.ru

Novozhilov Timofey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Omsk State Technical University, Omsk, 644000, Russian Federation, e-mail: timokvey@mail.ru

Nurbekova Aiman, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Aimannha@mail.ru

Nikambayeva Nurgul Nurollaevna, Senior Lecturer, Master of Applied Mathematics and Computer Science named after Academician E. A. Buketov» Karaganda University (Karaganda Buketov University), Karaganda 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: nmnurgul1980@mail.ru

Neftissov Alexandr Vitaliyevich, PhD, Industry 4.0 Research and Innovation Center, Astana IT University, Astana 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: alexandr.neftissov@astanait.edu.kz

Nikiforov Alexander Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: aleke4599@mail.ru

Omirkbekova Zarina Maratkyzy, Master, Senior Lecturer, Academy of Logistics and Transport, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail : z.omirkbekovna@alt.edu.kz

Oralbekova Zhanar Orymbayevna, PhD, associate professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: oralbekova@bk.ru

Ospanova Nazira Nurgazyevna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazira_n@mail.ru

Ogarkova Anastasia, Master doctoral student, Kostanay Regional University named after A. Baitursynov, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ogarkova.anastasia@mail.ru

Plevako Angela Petrovna, st. teacher, of the Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Faculty of Energy, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan

Prikhodko Evgeniy Valentinovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Heat Power Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140003, Republic of Kazakhstan, e-mail: john1380@mail.ru

Rakhadilov Bauyrzhan Korabaevich, PhD, Associate Professor, Director of Plasmascience LLP, Plasmascience LLP, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan, e-mail: rakhadilovb@gmail.com

Rakhimberdinova Dilara Muratovna, PhD, «Electric Power Engineering» Postdoctoral student, Department of Electrical Engineering and Automation, , Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, mail: Di_lara83@mail.ru

Rustamov Nassim Tulegenovich, Doctor of Technical Sciences, Senior Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: nasim52@mail.ru

Sarsenbayev Yerlan, PhD, Head of Department, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: y.sarsenbayev@satbayev.university

Semenyuk Vladislav, Senior Lecturer, North Kazakhstan State University named after Manash Kozybayev, Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Evdimid@mail.ru

Serikov Tansaule Gabdymanapovich, PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Sagyndyk Aigerim Bekenkyzy, PhD, Associate Professor, Faculty of Energetics, Toraihyrov University, F Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiko_90@mail.ru

Sarsikeev Yermek Zhaslanovich, PhD, Head of the Department of «Operation of Electrical Equipment», S. Seifullin, Kazakh AgroTechnical University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsikeev.ermek@yandex.ru

Sydykova Gulnar, PhD, Associate Professor, Institute of Engineering and technology, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 020000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sydykova77@mail.ru

Temirbulatov Karim Rashidovich, master's student Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Energetics, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: karim.aftermath@qmail.com

Tulegulin Amandos Dabysovich, PhD, Associate Professor, Professor, Head of the Department of «Information Technology», Kazakh University of Technology and Business, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, email: tud62@yandex.ru

Talipov Olzhas Manarbekovich, PhD, Professor, Faculty of Energetics, Toraihyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: talipov1980@mail.ru

Taissariyeva Kyrmyzy, PhD, Associate Professor, «KazNRTU named after K.I.Satbayev University, Institute of Automation and Information Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.taisariyeva@satbayev.university

Tauirbek Zhamal Shyngyskyzy, Master in Telecommunication Institute of Automation and Information technologies, Satbayev University, Almaty, 050005, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhamalrustemqyzy@gmail.com

Turkach Andrey Alexandrovich, Engineer, Experimental Thermal Physics Laboratory, Institute of Atomic Energy Branch NNC RK, Kurchatov, 071100, Republic of Kazakhstan, e-mail: turkach@nnc.kz

Tursyngaliyeva Gulim Nurlanovna, Senior lecturer Karaganda Buketov University, Karaganda, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Tursyngaliyeva_gulim@buketov.edu.kz

Tolegenova Arai Sarsengaliyeva, candidate of Technical senior teacher, Sciences, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: balgyn.bek.2018@gmail.com

Tlenshiyeva Akmaral Abdrasilovna, doctoral student, senior researcher, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmaral.tlenshiyeva@mail.ru

Uzakkyzy Nurgul, PhD, Associate Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nura_astana@mail.ru

Utugulov Arman Bolatbekovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Power Supply, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: utugulov76@mail.ru

Urazayev Dnislam Bulatovich, master's student, in Computer Science and Engineering, Astana IT University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: dnislam.urazayev@gmail.com

Khabay Anar, PhD, Associate Professor, K. I. Satbayev University, Institute of Automation and Information Technologies, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.khabay@satbayev.university

Sharipova Saltanat, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: salta_pvl@bk.ru

Shakenov Kalizhan, PhD, Associate Professor, Department of Power Engineering, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, email: k.shakenov@satbayev.university

Ybray Sultan Barlymbayuly, Senior Lecturer, Department of Thermal Energy, S. Seifullin. Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: sultan_energy@mail.ru

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
(«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

***В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

*** Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм

со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц** печатного текста. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 МРНТИ (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 DOI – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 Фамилия, имя, отчество (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*), **главного автора пометить символом (*)**;

4 Ученая степень, ученое звание;

5 Аффiliation (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 E-mail;

7 Название статьи должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 Аннотация – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 Ключевые слова – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

10 Основной текст статьи излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (*при наличии*) (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (*жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре*) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (*см. образец*).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. *Объем не менее 10 не более чем 20 наименований* (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) *см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом:

автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 Иллюстрации, перечень рисунков и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		

Страна		
E-mail		
Телефон		

Информация для авторов

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайғыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на сайт: www.vestnik-energy.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

НАО «Торайғыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайғыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование – Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jýsan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxx

***С. К. Антикеева**

Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.
- 10 **Арын, Е. М., Пфайфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogу. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitiye metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniyu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p. c.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.

- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ КҮЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби күзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби күзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель

Әлеуметтік қызметкерлердің әсеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeeva

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ
«ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайғыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегии статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz