

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

---

# ШМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



# ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 1811-1858

№ 2 (2020)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

**Энергетическая серия**

выходит 4 раза в год

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**О постановке на учет, переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 17022-Ж

выдано

Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

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

Подписной индекс – 76136

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Нефтисов А. В., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Шапкенов Б. К., *к.техн.н., профессор***Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Алиферов А. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
 Боровиков Ю. С., *д.т.н., профессор (Россия)*  
 Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
 Горюнов В. Н., *д.т.н., профессор (Россия)*  
 Говорун В. Ф., *д.т.н., профессор*  
 Бороденко В. А., *д.т.н., профессор*  
 Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
 Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
 Марковский В. П., *к.т.н., доцент*  
 Хацевский В. Ф., *д.т.н., профессор*  
 Шокубаева З. Ж., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна

**МАЗМҰНЫ**

<b>Абишев К. К., Итыбаева Г. Т., Касенов А. Ж., Мусина Ж. К., Таскарина А. Ж.</b>	
Элеватордың негізгі түйіндердің ресурстық энергия тиімділігін арттыру ....	15
<b>Айбульдинов Е. К., Петров М. С., Салихов Р. М., Бектұрғанов Н. С., Набиев М. А.</b>	
Синтетикалық мұнай, газ, кокс және энергия ала отырып, жанғыш тақтатастарды, төмен сұрыпты көмірді және қатты тұрмыстық қалдықтарды өңдеу технологиясы .....	26
<b>Алдамжаров К. Б., Кошекеев К. Т., Пирманов И. А.</b>	
Адаптивті басқару алгоритмімен робот-манипуляторларды зерттеу .....	37
<b>Амиров А. Ж., Дінмұхаммедұлы Д.</b>	
Жеке кодтауға арналған қысқа кері байланыс циклі .....	43
<b>Балабаев О. Т., Саржанов Д. К., Абишев К. К., Молдабаев Б. Г., Жексенбаев Е. С.</b>	
Конвейер пластиналарының бекіту түйіндерінің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу .....	52
<b>Балгабеков Т. К., Айдарбек Ә. О., Кошмаганбетова А. С., Байғужина Г. Н.</b>	
Дизельдердегі газдинамикалық процестер және олардың сипаттамаларын жақсарту бойынша зерттеу жұмыстары .....	59
<b>Бартенева А. И., Султангузин И. А., Яворовский Ю. В., Алимгазин А. Ш., Калякин И. Д.</b>	
Жылу трансформаторларын қызметті қолдану жылу электроцентралығы жұмысының энергия және экологиялық тиімділігін арттыру үшін .....	71
<b>Бергузинов А. Н., Аскербекеев С. К., Толенова А. У.</b>	
TiN жұқа пленкаларының қалыңдығының механикалық сипаттамаларға әсерін зерттеу .....	80
<b>Брейдо И. В., Булатбаева Ю. Ф., Оразгалиева Г. Д.</b>	
Болжау моделінің бастапқы деректерін анықтау үшін күнделік металлургиялық өндірістердің профилінің талдауы .....	88
<b>Глазырин А. И., Глазырин С. А., Достияров А. М., Ержанов К. Ш., Айдымбаева Ж. А., Беспяева М. С.</b>	
ЖЭО-да қоқыс шығаратын судың таралуы арқылы күкіртті оксидтердің эмиссиясын азайту .....	98
<b>Глазырин С. А., Глазырин А. И., Достияров А. М., Ержанов К. Ш., Айдымбаева Ж. А., Беспяева М. С., Советай К. Ж., Асанова Д. С.</b>	
Қоршаған ортаға биоэнергетикалық қондырғылардың қоршаған ортаға әсері .....	110
<b>Глуценко Т. И., Бедыч Т. В.</b>	
Жел энергетикалық қондырғылардың қуатын тұрақтандыру .....	118

<b>Достияров А. М., Садыкова С. Б., Яманбекова А. К., Картджанов Н. Р.</b> Кіріс ағынының бұралы бұрышының турбуленттілік интенсификациясына әсерін изотермиялық зерттеу .....	127
<b>Достияров А. М., Умышев Д. Р., Достиярова А. М., Катранова Г. С.</b> Ыңғайлы ағатын профильдер үшін жану процестеріне газ берудің әртүрлі нұсқаларының әсері .....	139
<b>Елубай М. А., Бұхарбаев С. Қ.</b> Энергетика кәсіпорындардың қалдықтарын шикізат ретінде ұтымды пайдалану .....	147
<b>Елубай М. А., Оразбекулы Е., Айтқалиева Г. С.</b> Неионогенные поверхностно-активные вещества на основе возобновляемого сырья .....	152
<b>Есмаханова Л. Н., Жанкуанышев М. К., Марковский В. П., Утегулов А. Б., Кошкин И. В.</b> Тамақ өнеркәсібіндегі технологиялық процестерге scada-жүйелерді ендіру .....	159
<b>Жумагулов М. Г., Глазырин С. А., Глазырин А. И., Ержанов К. Ш., Глазырина Н. С., Ажикенов К. С.</b> «KSP STEEL» ЖШС-нің кеңсе ғимаратын жылумен қамтамасыз ету .....	168
<b>Инютин С. П., Нурғалиев С. С., Джапарова Г. А., Айнагулова А. С.</b> Жарықтандыру жүйелері үшін энергия тиімділікті жабдықтар сапасы, жарық техникалық өнімнің фотобиологиялық қауіпсіздігі мен таңбалау мәселелері .....	175
<b>Исабеков Д. Д., Талипов О. М.</b> Жинақталған тарату құрылғыларға қосылған электрқондырғылар үшін максималды ток қорғау .....	188
<b>Исаев В. Л., Камарова С. Н., Абильдинова С. К.</b> Жылуэнергетика инженерингінің ерекшеліктері бойынша жүйелік анықтамалық білімді дамытудың әдіснамалық ерекшеліктері .....	193
<b>Исаева Ж. Р., Шоланов К. С.</b> Жүктеу жүйесіндегі қалқымалы толқын электростанциясы .....	205
<b>Искаков Р. М., Мулдашева М. Г.</b> Кептіріп-ұсақтағыш аппараттағы масса және жылу тасымалдау .....	214
<b>Kroczek P., Cieślak J., Болатова А. Б., Усербаев М. Т.</b> Robin heart vision хирургиялық роботын кинематикалық талдауы .....	222
<b>Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Пшембай Н. Н., Толегенов С., Иманбек С., Даниленко С.</b> Зияткерлік қуатты қамтамасыз ету .....	233
<b>Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Пшембай Н. Н., Толегенов С.</b> Тұрғын үй және құрылыс комплексіндегі энергия технологиялары .....	240
<b>Келаманов Б. С., Жумағалиев Е. У., Акуев А. М., Самуратов Е. К., Аманкелді Н. І.</b> Fe-V-Si-Al жүйесінің термодинамикалық-диаграммалық талдануы .....	255

<b>Келаманов Б. С., Сариев О. Р., Әбдірашит А. М., Орынбаев Б. М., Аманкелді Н. І.</b> Fe-Si-Al және Fe-V-Al жүйелеріндегі термодинамикалық үрдістерді модельдеу және талдау .....	264
<b>Кисмерешкин В. П., Риттер Е. С., Зыкова Н. В., Риттер Д. В.</b> E <sub>00</sub> толқын өрісін біркелкі бөлу үшін резонансты дірілдеткіш жүйесінің тиімділігін зерттеу .....	272
<b>Клецель М. Я., Машрапов Б. Е., Талипов О. М.</b> Жинақы үш фазалы ток өткізгіштердегі магниттік өрістер .....	279
<b>Көшекөв Қ. Т., Анаятова Р. Қ., Кислов А. П.</b> Ұшу қауіпсіздігіне адам факторының теріс әсерін азайту жолдары .....	286
<b>Куанышев М. К., Мурзағалиев А. Ж., Сембаев Н. С., Ахметов С. И.</b> Іштен жану қозғалтқыштың сырғанау мойынтіректерінің тозу процестерін математикалық модельдеу .....	300
<b>Макатов Е. К., Актаева А. У., Хан С. И., Қалман Г., Шонашева А. К.</b> Өлеуметтік желілердің ақпараттық қауіпсіздікке қауіпі ретінде .....	310
<b>Мельников В. Ю., Кибартене Ю. В., Кибартас В. В.</b> Мұнай магистральды мұнай құбырларының негізгі сорғы агрегаттарының синхронды электр қозғалтқыштарының бастапқы қасиеттерін қамтамасыз ету құралдары мен жүйелері .....	321
<b>Мехтиев А. Д., Югай В. В., Алькина А. Д., Есенжолов У. С., Нешина Е. Г.</b> Суландыру жүйелерінің поршеньді сорғысының жетегіне арналған сыртқы жылуды бар қозғалтқыш .....	332
<b>Муканов А. Т., Амриев Р. А., Елубай М. А.</b> «ПНХЗ» ЖШС мазутты вакуумдық айдау қондырғысының жұмыс тиімділігінде «Lean Six Sigma» майын өндіру тұжырымдамасының рөлі .....	344
<b>Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Нуркина Ш. М.</b> Жоғары температуралы агрегаттарды қыздырудың ұтымды режимдерін енгізудің экономикалық тиімділігін талдау .....	351
<b>Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Асаинова Д. К.</b> РТ-40 ток релесінің магниттік жүйесі негізінде ток қорғанысын құру тәсілі .....	357
<b>Нукешев С., Скрынник Б., Ахметов Е., Тлеумбетов К., Косатбекова Д.</b> Тыңайтқыштардың енгізілуін саралауды басқару мен бақылаудың әмбебап жүйесін әзірлеу .....	364
<b>Сапарходжаев Н. П., Әбдісамат М. Ә.</b> Туризм мәселесін шешетін ақпараттық жүйе .....	377
<b>Сапарходжаев Н. П., Әбдісамат М. Ә.</b> Тарихи жерлерге саяхаттауға мүмкіндік беретін ақпараттық жүйе .....	385

<b>Смайлов Н. К., Көшкінбаев С. Ж., Кошкинбаева М. Ж., Адыбаев Ж. Б.</b> Оптикалық қуатты трансформаторлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және оптикалық ток пен кернеу трансформаторларын математикалық модельдеу .....	394
<b>Сүлейменов И. Э., Байпақбаева С. Т., Копишев Э. Е., Евстифеев В. Н., Мун Г. А.</b> Дезинфекция және ауаны тазартуға арналған радиотехникалық жүйелердің скалярлық теориясы .....	402
<b>Таткеева Г. Г., Марковский В. П., Утегулов А. Б., Кошкин И. В., Байзакова М. Б.</b> Кернеуі 1000В дейінгі оқшауланған бейтарап желілерде симметриялы режимдер кезінде жанасу кернеуін анықтау әдісі .....	418
<b>Таткеева Г. Г., Утегулов А. Б., Марковский В. П., Кошкин И. В., Ромазанов О. М.</b> 1000 В-тан жоғары дауыспен симметрикалық желінде тігіндің дауысы тиісін анықтау әдісін дамыту .....	425
<b>Умышев Д. Р., Достияров А. М., Дуйсенбек Ж. С., Яманбекова А. К., Мусаева Ж. К.</b> Бұрыштық тұрақтандырғыштар тобының жану процестеріне отын берудің әртүрлі нұсқаларын эксперименттік зерттеу .....	431
<b>Файз Н. С., Сатаев М. И., Азимов А. М., Бердалиева А. А., Никонов О. Я.</b> Жоғарғы кернеулі электр желілерінде электр өрісінің канцерогендік қаупі .....	448
<b>Федянин В. Я., Умурзакова А. Д., Жумагажинов А. Т.</b> Биогаз өндірісінде ультрадыбыстық технологияларды қолдану тиімділігі .....	461
<b>Хамзина Б. Е., Мендыбаев С. А., Наурызбаев К. К., Сағындық Ә. Б.</b> Сир Carbon бағдарламасында сымсыз желіні үлгілеу .....	468
<b>Хамзина Ш. Ш., Хлущевская О. А., Сулейменов О.</b> Павлодар қаласында нөсерлі кәріз жүйесін жетілдіру .....	477
<b>Хацевский В. Ф., Хацевский К. В., Гоненко Т. В.</b> Кенді қалпына келтіретін электр пештерін пайдалану кезінде энергияны үнемдеу .....	484
<b>Швец О. Я., Баталова М. Е.</b> Эстетикалық стоматологиядағы тіс түсін таңдаудың автоматтандырылған жүйесі .....	492
Авторларға арналған ережелер .....	503
Жарияланым этикасы .....	509

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Абишев К. К., Итыбаева Г. Т., Касенов А. Ж., Мусина Ж. К., Таскарина А. Ж.</b> Повышение ресурсо-энергоэффективности основных узлов элеватора ...	15
<b>Айбульдинов Е. К., Петров М. С., Салихов Р. М., Бектурганов Н. С., Набиев М. А.</b> Технология переработки горючих сланцев, низкосортных углей и твердых бытовых отходов с получением синтетической нефти, газа, кокса и энергии .....	26
<b>Алдамжаров К. Б., Кошекков К. Т., Пирманов И. А.</b> Исследование роботов-манипуляторов с адаптивным алгоритмом управления .....	37
<b>Амиров А. Ж., Динмухаммедулы Д.</b> Короткая петля обратной связи для соло-кодинга .....	43
<b>Балабаев О. Т., Саржанов Д. К., Абишев К. К., Молдабаев Б. Г., Жексенбаев Е. С.</b> Исследование напряженно-деформированного состояния крепежных узлов пластин конвейера .....	52
<b>Балгабеков Т. К., Айдарбек Ә. О., Кошмаганбетова А. С., Байгужина Г. Н.</b> Газодинамические процессы в дизелях и исследовательские работы по улучшению их характеристик .....	59
<b>Бартенев А. И., Султангузин И. А., Яворовский Ю. В., Алимгазин А. Ш., Калякин И. Д.</b> Применение абсорбционных трансформаторов теплоты для повышения энергетической и экологической эффективности работы теплоэлектроцентрали .....	71
<b>Бергузинов А. Н., Аскербек С. К., Толенова А. У.</b> Исследование влияния толщины тонких пленок TiN на механические характеристики .....	80
<b>Брейдо И. В., Булатбаева Ю. Ф., Оразгалеева Г. Д.</b> Анализ суточного профиля нагрузок металлургического производства для определения исходных данных прогнозирующей модели .....	88
<b>Глазырин А. И., Глазырин С. А., Достияров А. М., Ержанов К. Ш., Айдымбаева Ж. А., Беспяева М. С.</b> Снижение выбросов оксидов серы на ТЭС за счет утилизации сточных вод .....	98
<b>Глазырин С. А., Глазырин А. И., Достияров А. М., Ержанов К. Ш., Айдымбаева Ж. А., Беспяева М. С., Советай К. Ж., Асанова Д. С.</b> Снижение экологического воздействия биоэнергетических установок на окружающую среду .....	110

<b>Глуценко Т., Бедыч Т.</b> Стабилизация мощности ветроэнергетических установок .....	118
<b>Достияров А. М., Садыкова С. Б., Яманбекова А. К., Картджанов Н. Р.</b> Изотермическое исследование влияния угла закрутки входного потока на интенсивность турбулентности .....	127
<b>Достияров А. М., Умышев Д. Р., Достиярова А. М., Катранова Г. С.</b> Влияние различных вариантов подачи газа на процессы горения за удобообтекаемыми профилями .....	139
<b>Елубай М. А., Бухарбаев С. К.</b> Рациональное использования отходов предприятий энергетики в качестве сырья и материала .....	147
<b>Елубай М. А., Оразбекулы Е., Айткалиева Г. С.</b> Неионогенные поверхностно-активные вещества на основе возобновляемого сырья .....	152
<b>Есмаханова Л. Н., Жанкуанышев М. К., Марковский В. П., Утегулов А. Б., Кошкин И. В.</b> Внедрение SCADA-системы в технологические процессы пищевой промышленности .....	159
<b>Жумагулов М. Г., Глазырин С. А., Глазырин А. И., Ержанов К. Ш., Глазырина Н. С., Ажикенов К. С.</b> Теплоснабжение административно-бытового корпуса ТОО «KSP STEEL» за счет вторичных тепловых энергоресурсов .....	168
<b>Инютин С. П., Нургалиев С. С., Джапарова Г. А., Айнагулова А. С.</b> Качество энергоэффективного оборудования для систем освещения, вопросы фотобиологической безопасности и маркировки светотехнической продукции .....	175
<b>Исабеков Д. Д., Талипов О. М.</b> Максимальная токовая защита электроустановок, подключенных к ячейкам комплектных распределительных устройств .....	188
<b>Исаев В. Л., Камарова С. Н., Абильдинова С. К.</b> Опорный конспект «Ситовый анализ угля» по методологии активного освоения для системных опорных знаний .....	193
<b>Исаева Ж. Р., Шоланов К. С.</b> Система генерирования электрической энергии поплавковой волновой электростанции .....	205
<b>Искаков Р. М., Мулдашева М. Г.</b> Массо- и теплоперенос в сушильно-измельчающем аппарате .....	214
<b>KroczeK P., Cieślak J., Болатова А. Б., Усербаев М. Т.</b> Кинематический анализ хирургического робота Robin heart vision .....	222
<b>Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Пшембай Н. Н., Толегенов С., Иманбек С., Даниленко С.</b> Концепция интеллектуального энергоснабжения .....	233
<b>Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Пшембай Н. Н., Толегенов С.</b> Энергосберегающие технологии в жилищно коммунальном комплексе .....	240

<b>Келаманов Б. С., Жумагалиев Е. У., Акуев А. М., Самуратов Е. К., Аманкелді Н. І.</b> Термодинамический-диаграммный анализ системы Fe-V-Si-Al .....	255
<b>Келаманов Б. С., Сариев О. Р., Әбдірашит А. М., Орынбаев Б. М., Аманкелді Н. І.</b> Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Si-Al и Fe-V-Al .....	264
<b>Кисмерешкин В. П., Риттер Е. С., Зыкова Н. В., Риттер Д. В.</b> Исследование эффективности системы резонансных вибраторов для равномерного распределения поля волны $E_{00}$ .....	272
<b>Клецель М. Я., Маширапов Б. Е., Талипов О. М.</b> Магнитные поля в комплектных трёхфазных токопроводах .....	279
<b>Кошекков К. Т., Анаятова Р. К., Кислов А. П.</b> Пути снижения отрицательного влияния человеческого фактора на безопасность полетов .....	286
<b>Куанышев М. К., Мурзагалиев А. Ж., Сембаев Н. С., Ахметов С. И.</b> Математическое моделирование процессов изношенности подшипников сгорания двигателя внутреннего сгорания .....	300
<b>Макатов Е. К., Актаева А. У., Хан С. И., Қалман Г., Шонашева А. К.</b> Социальные сети как угроза информационной безопасности .....	310
<b>Мельников В. Ю., Кибартене Ю. В., Кибартас В. В.</b> Средства и системы обеспечения пусковых свойств синхронных электродвигателей основных насосных агрегатов магистральных нефтепроводов .....	321
<b>Мехтиев А. Д., Югай В. В., Алькина А. Д., Есенжолов У. С., Нешина Е. Г.</b> Двигатель с внешним подводом теплоты для привода поршневого насоса систем орошения .....	332
<b>Муканов А. Т., Амриев Р. А., Елубай М. А.</b> Роль применения концепции бережливого производства «Lean Six Sigma» в операционной эффективности установки вакуумной перегонки мазута на ТОО «ПНХЗ» .....	344
<b>Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Нуркина Ш. М.</b> Анализ экономической эффективности внедрения рациональных режимов разогрева высокотемпературных агрегатов .....	351
<b>Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Асаинова Д. К.</b> Способ построения токовых защит на базе магнитной системы токового реле РТ-40 .....	357
<b>Нукешев С., Скрынник Б., Ахметов Е., Тлеумбетов К., Косатбекова Д.</b> Разработка универсальной системы управления и контроля дифференциацией внесения удобрений .....	364
<b>Сапарходжаев Н. П., Абдисамат М. А.</b> Информационная система созданная для решения проблемы туризма .....	377

<b>Сапарходжаев Н. П., Абдисамат М. А.</b> Информационная система дающая возможность путешествовать по историческим местам .....	385
<b>Смайлов Н. К., Көшкінбаев С. Ж., Кошкинбаева М. Ж., Адыбаев Ж. Б.</b> Исследование функциональных возможностей оптических силовых трансформаторов и математическое моделирование оптических трансформаторов тока и напряжения .....	394
<b>Сулейменов И. Э., Байпакбаева С. Т., Копишее Э. Е., Евстифеев В. Н., Мун Г. А.</b> Скалярная теория радиотехнических систем дезинфекции и очистки воздуха .....	402
<b>Таткеева Г. Г., Марковский В. П., Утегулов А. Б., Кошкин И. В., Байзакова М. Б.</b> Метод определения напряжения прикосновения при симметричных режимах в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000В ....	418
<b>Таткеева Г. Г., Утегулов А. Б., Марковский В. П., Кошкин И. В., Ромазанов О. М.</b> Разработка метода определения напряжения прикосновения в симметричной сети напряжением выше 1000 В .....	425
<b>Умышев Д. Р., Достияров А. М., Дуйсенбек Ж. С., Яманбекова А. К., Мусаева Ж. К.</b> Экспериментальное изучение различных вариантов подачи топлива на процессы горения за группой угольных стабилизаторов .....	431
<b>Файз Н. С., Сатаев М. И., Азимов А. М., Бердалиева А. А., Никонов О. Я.</b> Канцерогенный риск электрического поля на примере высоковольтных линий электропередач .....	448
<b>Федянин В. Я., Умурзакова А. Д., Жумагажинов А. Т.</b> Эффективность применения ультразвуковых технологий при производстве биогаза .....	461
<b>Хамзина Б. Е., Мендыбаев С. А., Наурызбаев К. К., Сагындык А. Б.</b> Моделирование беспроводной сети в Сир carbon .....	468
<b>Хамзина Ш. Ш., Хлущевская О. А., Сулейменов О.</b> Совершенствование системы ливневой канализации в городе Павлодар .....	477
<b>Хацевский В. Ф., Хацевский К. В., Гоненко Т. В.</b> Энергосбережение при эксплуатации рудовосстановительных электропечей .....	484
<b>Швец О. Я., Баталова М. Е.</b> Автоматизированная система подбора цвета зубов в эстетической стоматологии .....	492
Правила для авторов .....	503
Публикационная этика .....	509

## CONTENT

<b>Abishev K. K., Itybayeva G. T., Kasenov A. Zh., Mussina Zh. K., Taskarina A. Zh.</b> Increase of resource-energy efficiency of the main nodes of the elevator .....	15
<b>Aibuldinov Ye. K., Petrov M. S., Salikhov R. M., Bekturganov N. S., Nabiyev M. A.</b> Technology of processing of oil shales, low-grade coals and municipal solid wastes to produce synthetic oil, gas, coke and energy .....	26
<b>Aldamzharov K., Koshekov K., Pirmanov I.</b> Research of robot-manipulators with adaptive algorithm of control .....	37
<b>Amirov A. Zh., Dinmukhammeduly D.</b> Short feedback loop for solo coding .....	43
<b>Balabayev O. T., Sarzhanov D. K., Abishev K. K., Moldabaev B. G., Zheksenbayev E. S.</b> The study of the stress-strain state of the mounting nodes of the conveyor plates .....	52
<b>Balgabekov T. K., Aidarbek A. O.</b> <b>Koshmaganbetova A. S., Baiguzhina G. N.</b> Gas-dynamic processes in diesels and research works to improve their characteristics .....	59
<b>Bartenev A. I., Sultanguzin I. A., Yavorovsky Yu. V., Alimgazin A. Sh., Kalyakin I. D.</b> Application of absorption heat transformers to increase the energy and environmental efficiency of work of heat electrocentral .....	71
<b>Berguzinov A. N., Askerbekov S. K., Tolenova A. U.</b> Investigation of the effect of thin TiN films thickness on the mechanical characteristics .....	80
<b>Breido J. V., Bulatbayeva J. F., Orazgaleyeva G. D.</b> Daily load profile analysis of metallurgical production for determining the forecasting model input data .....	88
<b>Glazyrin A. I., Glazyrin S. A., Dostiyarov A. M., Erzhanov K. S., Aidymbayeva Z. A., Bepayeva M. S.</b> Reduction of sulfur oxides emissions at TPP by waste water disposal .....	98
<b>Glazyrin S. A., Glazyrin A. I., Dostiyarov A. M., Erzhanov K. S., Aidymbayeva Z. A., Bepayeva M. S., Sovetay K. Z., Asanova D. S.</b> Environmental impact of bioenergy installations on the environment .....	110
<b>Glushchenko T. I., Bedych T. V.</b> Power stabilization of wind power plants .....	118
<b>Dostiyarov A. M., Sadykova S. B., Yamanbekova A. K., Kartjanov N. R.</b> Isothermal study of the impact of inlet flow turn angle for the turbulence intensity .....	127

<b>Dostiyarov A. M., Umyshev D. R., Dostiyarova A. M., Katranova G. S.</b> The influence of different variants of gas supply to the combustion processes over aerodynamically shaped profiles .....	139
<b>Yelubay M. A., Bukharbayev S. K.</b> Rational use of waste from energy enterprises as raw materials .....	147
<b>Yelubay M. A., Orazbekuly Ye., Aitkaliyeva G. S.</b> Nonionic surfactants based on renewable raw materials .....	152
<b>Esmakhanova L. N., Zhankuanyshev M. K., Markovsky V. P., Utegulov A. B., Koshkin I. V.</b> Implementation of the SCADA system in food processing processes .....	159
<b>Zhumagulov M. G., Glazyrin S. A., Glazyrin A. I., Erzhanov K. S., Glazyrina N. S., Azhikenov K. S.</b> Heat supply of the office building of KSP STEEL LLP due to secondary heat energy resources .....	168
<b>Inyutin S. P., Nurgaliyev S. S., Japarova G. A., Ainagulova A. S.</b> Quality of energy efficient equipment for lighting systems, issues of photobiological safety and labelling of lighting products .....	175
<b>Issabekov D. D., Talipov O. M.</b> Maximum current protection of electrical installations connected to switchgear cubicles .....	188
<b>Isaev V. L., Kamarova S. N., Abildinova S. K.</b> Features methodology of development of system basic knowledge on disciplines of heat power engineering .....	193
<b>Issaeva Z. R., Sholanov K. S.</b> Electric energy generation system of a floating wave power plant .....	205
<b>Iskakov R. M., Muldasheva M. G.</b> Mass and heat transfer in drying and grinding apparatus .....	214
<b>Kroczek P., Cieřlik J., Bolatova A., Ussebayev M.</b> Kinematic analysis of surgical robot Robin heart vision .....	222
<b>Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markovskiy V. P., Pshembay N. N., Tolegenov S., Imanbek S., Danilenko S.</b> Intellectual power supply concept .....	233
<b>Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markovskiy V. P., Pshembay N. N., Tolegenov S.</b> Energy-saving technologies in the housing and municipal complex .....	240
<b>Kelamanov B. S., Zhumagaliyev Ye. U., Akuov A. M., Samuratov Ye. K., Amankeldi N. I.</b> Thermodynamic-diagram analysis of the Fe-V-Si-Al system .....	255
<b>Kelamanov B. S., Sariev O. R., Abdirashit A. M., Orynbaev B. M., Amankeldi N. I.</b> Modeling and analysis of thermodynamic processes in Fe-Si-Al and Fe-V-Al systems .....	264

<b>Kismereshkin V. P., Ritter E. S., Savostin A. A., Ritter D. V.</b> Investigation of resonance vibrators system efficiency for uniform distribution of $E_{00}$ wave field .....	272
<b>Kletsel M. Ya., Mashrapov B. E., Talipov O. M.</b> Magnetic fields in complete three-phase currents .....	279
<b>Koshekov K. T., Anayatova R. K., Kislov A. P.</b> The ways to reduce the negative influence of the human factor on safety .....	286
<b>Kuanyshev M. K., Murzagaliyev A. Zh., Sembaev N. S., Akhmetov S. I.</b> Mathematical modeling of wear of the bearings of combustion of the internal combustion engine .....	300
<b>Makatov Ye. K., Aktayeva Al. U., Khan S. I., Kalman G., Shonasheva A. K.</b> Social networks as threat of information security .....	310
<b>Melnikov V. Yu., Kibartene Yu. V., Kibartas V. V.</b> Means and systems for ensuring the starting properties of synchronous electric motors of the main pumping units of oil trunk pipelines .....	321
<b>Mekhtiyev A. D., Yugay V. V., Alkina A. D., Yessenzholov U. S., Neshina Y. G.</b> External heat supply engine for driving piston pump irrigation systems .....	332
<b>Mukanov A. T., Amriev R. A., Yelubay M. A.</b> The role of lean six sigma application on operational effectiveness of vdu unit POCR case study overview .....	344
<b>Nikiforov A. S., Prikhodko E. V., Kinzhibekova A. K., Nurkina Sh. M.</b> Analysis of economic efficiency of high-temperature units' rational heat-up modes implementation .....	351
<b>Novozhilov A. N., Novozhilov T. A., Assainova D. K.</b> Method for constructing current protections based on the magnetic system of the RT-40 current relay .....	357
<b>Nukeshev S., Skrynnik B., Akhmetov E., Tleumbetov K., Kosatbekova D.</b> Development of a universal system for managing and controlling the differentiation of fertilizers .....	364
<b>Saparkhojayev N. P., Abdisamat M. A.</b> Information system that solves the problems of tourism .....	377
<b>Saparkhojayev N. P., Abdisamat M. A.</b> Information system that allows you to travel to historical places .....	385
<b>Smailov N., Koshkinbayev S. Zh., Koshkinbayeva M. Zh., Adybayev Zh. B.</b> Research of the functionality of optical power transformers and mathematical modeling of optical current and voltage transformers .....	394
<b>Suleimenov I. E., Baipakbaeva S. T., Kopishev E. E., Evstifeyev V. N., Mun G. A.</b> The scalar theory of the radio engineering systems for disinfection and air purification .....	402
<b>Tatkeeva G. G., Markovsky V. P., Utegulov A. B., Koshkin I. V., Baizakova M. B.</b> Method for determining the touch voltage in symmetrical modes in networks with isolated neutral voltage up to 1000 V .....	418

<b>Tatkeeva G. G., Utegulov A. B., Markovsky V. P., Koshkin I. V., Romazanov O. M.</b>	
Development of a method for determining a touch voltage in a symmetric network with a voltage above 1000 V .....	425
<b>Umyshev D. R., Dostiyarov A. M., Duisenbek Zh. S., Yamanbekova A. K., Musaeva Zh. K.</b>	
Experimental study of various options of fuel supply for combustion processes for a group of corner stabilizers .....	431
<b>Faiz N. S., Satayev M. I., Azimov A. M., Berdalieva A. A., Nikonov O. Ya.</b>	
Carcinogenic risk electric fields on the example of high-voltage power lines ..	448
<b>Fedyanin V. Ya., Umurzakova A. D., Zhumagazhinov A. T.</b>	
Efficiency of using ultrasonic technologies in the production of biogas .....	461
<b>Khamzina B. E., Mendybaev S. A., Naurzbayev K. K., Sagyndyk A. B.</b>	
Modeling a wireless network in Cup Carbon .....	468
<b>Khamzina S. S., Khluchshevskaya O. A., Suleimenov O.</b>	
Improvement of the discharge system of the Pavlodar city .....	477
<b>Khatsevskiy V. F., Khatsevskiy K. V., Gonenko T. V.</b>	
Energy saving at operation of the ore-reducing electric furnaces .....	484
<b>Shvets O. Ya., Batalova M. E.</b>	
Automated dental color selection system for aesthetic dentistry .....	492
Rules for authors .....	503
Publication ethics .....	509

ГРНТИ 53.01.83; 44.09.03

**К. К. Абишев<sup>1</sup>, Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, А. Ж. Касенов<sup>3</sup>,  
Ж. К. Мусина<sup>4</sup>, А. Ж. Таскарина<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., профессор, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>PhD, асоц. профессор (доцент), Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>a.kairatolla@mail.ru; <sup>2</sup>galia-itibaeva@mail.ru;

<sup>3</sup>asylbek\_kasenov@mail.ru; <sup>4</sup>mussina\_zhanara@mail.ru; <sup>5</sup>aya\_taskarina@mail.ru

## **ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСО-ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕВАТОРА**

*Статья посвящена повышению ресурсо-энергоэффективности основных узлов элеватора и предложена модернизация узла приёмки глинозема, которая состоит в основном из замены пластинчатой цепи на якорную цепь. Основным показателем работоспособности узла приемки является коэффициент технической готовности оборудования и входит в периодичность планово-предупредительных ремонтов (ППР).*

*После ввода в эксплуатацию узла приемки глинозема и по настоящее время ремонтные службы завода столкнулись с проблемой частого вывода в ремонт элеваторов, основной причиной которого является износ пластинчатого цепного конвейера и натяжной системы. Причиной износа является транспортируемое сырье – глинозем, которые по своей структуре обладает сильными абразивными свойствами. Кроме того, мелкая фракция глинозема и*



его текучесть, также служит ускоренному износу основных узлов элеватора.

Таким образом, модернизация приводного и натяжного устройств узла приёмки глинозема, а именно замена пластинчатой цепи на якорную повысит срок эксплуатации, уменьшит затраты на ППР и повысит ресурсо-энергоэффективность основных узлов элеватора. Кроме того, оснащение датчиками синхронности вращения приводного и натяжного устройств с целью своевременного останова элеватора в случае заклинивая цепи или одного из барабанов.

**Ключевые слова:** срок службы, эксплуатация, ремонт, планово-предупредительных ремонтов, изнашивание, узел приёмки, глинозём, цепь.

## ВВЕДЕНИЕ

Важными звеньями современного промышленного производства являются внутризаводское и внутрицеховое перемещения огромных объемов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

Транспортные и технологические линии любого предприятия связаны друг с другом и представляют собой единую систему. Машины непрерывного действия являются составной неотъемлемой частью технологического процесса. Они обеспечивают ритмичность производства, способствуют повышению производительности труда и увеличению объема выпускаемой продукции. Кроме того, они – главные средства комплексной механизации и автоматизации основного и вспомогательного производств [1–3]. Современное направление развития производства, основано на базе интенсивного развитие непрерывных видов транспорта (конвейерного, гидравлического, пневматического и др.), позволяющих обеспечить высокую производительность транспортирования, организовать поточные автоматизированные линии, значительно уменьшить площади производственных зданий и размеры общей территории предприятия, что имеет большое значение для снижения первоначальных капиталовложений и осуществления реконструкции предприятий; повышение надежности машин и упрощение их обслуживания; модернизация оборудования [4–6].

Важное значение повышение эксплуатационной надежности и долговечности имеет для металлургического оборудования, где в ремонтной службе занято около 30 % всех рабочих, а стоимость технологического оборудования достигает 40 % общей стоимости основных производственных фондов [7–9].

Таким образом, проблема повышения надежности технологического оборудования является актуальной, в связи с повышением производительности оборудования и увеличением воздействующих на него нагрузок.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным показателем работоспособности узла приемки является коэффициент технической готовности (КТГ) оборудования и входит в периодичность планово-предупредительных ремонтов (ППР).

После ввода в эксплуатацию узла приемки глинозема и по настоящее время ремонтные службы завода столкнулись с проблемой частого вывода в ремонт элеваторов, основной причиной которого является износ пластинчатого цепного конвейера и натяжной системы. Причиной износа является транспортируемое сырье – глинозем, которые по своей структуре обладает сильными абразивными свойствами [10–12]. Кроме того, мелкая фракция глинозема и его текучесть, также служит ускоренному износу основных узлов элеватора.

Основные характеристики и узлы элеватора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики и узлы существующего элеватора

Наименование параметров и размеров	Значение
Производительность, при коэффициенте заполнения ковшей, 0,73, т/ч, не менее	80
Транспортируемый насыпной груз	Глинозём
Скорость движения ковшей, м/с, не менее	0,7
Номинальная частота вращения приводного вала, об/мин	17,7
Тяговая цепь	Специальная, на базе цепи М315-2-160-1 по ГОСТ 588-81
Количество цепей, шт.	2
Ход грузового натяжного устройства, мм, не менее	300
Масса подвижных частей грузового натяжного устройства без грузов, кг	376
Масса одного груза, кг	5,27
Наибольшее количество грузов, шт.	46
Диаметр обводных шкивов натяжного вала, мм	520
Диаметр отклоняющих шкивов цепи, мм	418



Глинозем при транспортировке попадает в подвижные части цепи элеваторов, что приводит к их заклиниванию и как следствие, преждевременному ускоренному износу соединительных втулок, которые должны вращаться при прохождении через приводную звездочку, натяжное устройство, обводящие колеса. Заклинившие втулки срывают неподвижные соединительные оси, приводя их во вращение и как следствие возникает трение оси с соединительной планкой, увеличивается отверстие (износ) соединительных планок, что в конечном итоге грозит к порыву всей цепи элеватора [15–17].

Конструкция натяжной системы, также не позволяет эффективно автоматически производить натяжку цепи элеваторов – нарушается герметичность. Глинозем попадает в образовавшиеся зазоры и абразивом разрушает движущие части натяжного устройства. Отсутствие натяжного устройства ведет к расслаблению цепи и выходу из направляющих пластин и звездочек.

Модернизация узла приёмки глинозема состоит в основном из замены пластинчатой цепи на якорную цепь (рисунок 3), в которой отсутствуют части вращения по всей длине цепи.

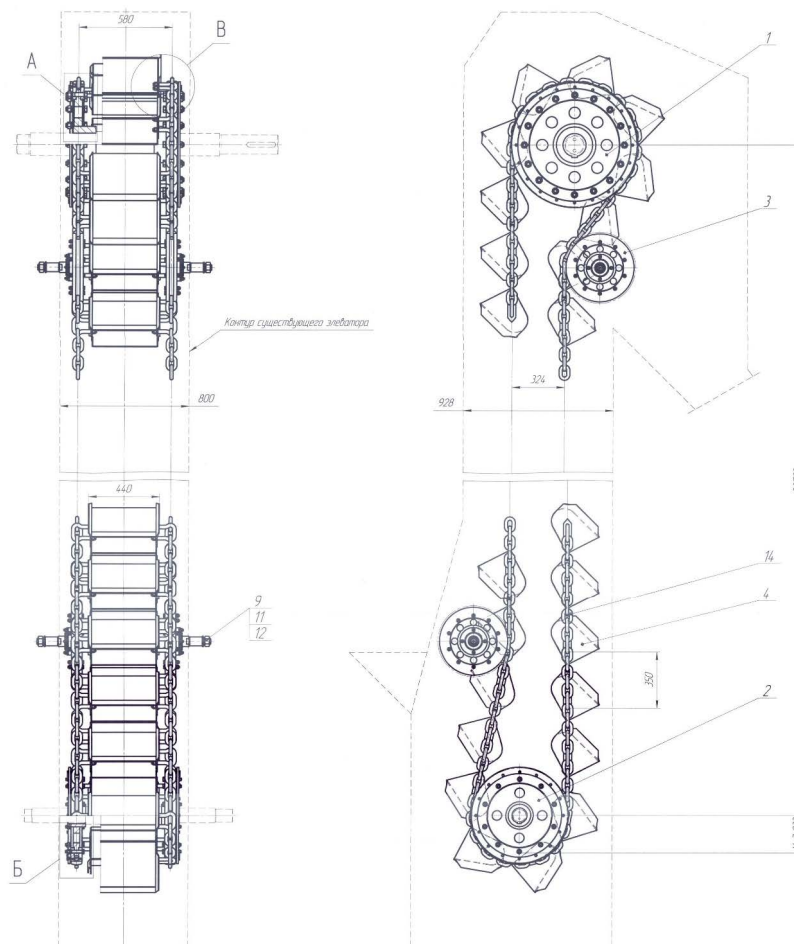


Рисунок 3 – Якорная цепь

### ВЫВОДЫ

В этой статье, представлена модернизация приводного и натяжного устройств узла приёмки глинозема, а именно замена пластинчатой цепи на якорную повысит срок эксплуатации, уменьшит затраты на ППР и повысит ресурсо-энергоэффективность основных узлов элеватора. Кроме того, оснащение датчиками синхронности вращения приводного и натяжного устройств с целью своевременного останова элеватора в случае заклинивая цепи или одного из барабанов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Захарцова, Л. Н.** Грузоподъемные и транспортирующие машины [Текст] : учебное пособие / Л. Н. Захарцова. – Брянск : Мичуринский филиал ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2015. – 76 с.
- 2 **Мерданов, Ш. М.** Машины непрерывного транспорта [Текст] : учебное пособие / Ш. М. Мерданов, Н. И. Смолин, А. А. Иванов, В. В. Шефер. – Тюмень : ТГНУ, 2010. – 208 с.
- 3 **Шепелина, П. В.** Машины непрерывного транспорта [Текст] : учебное пособие / П. В. Шепелина. – М. : РУТ (МИИТ), 2018. – 259 с.
- 4 **Бубнов, С. А.,** Как эффективно модернизировать производство [Текст] / С. А. Бубнов, С. Ю. Бубнов // Главный механик. – 2017. – № 2. – С. 15–22.
- 5 **Глухов, Л. М.** Надежность технологических машин [Текст] / Л. М. Глухов, – М. : МИСиС, 2014. – 316 с.
- 6 **Ельцов, М. Ю.** Проектирование элеватора ЛГНС-260 с различным составом изделия / М. Ю. Ельцов, М. В. Юрьева, С. И. Анциферов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 103–109.
- 7 **Жуматаев, А. К.** Повышение надёжности оборудования [Текст] / А. К. Жуматаев, Р. О. Олжабаев // Наука и техника Казахстана. – 2010. – № 2. – С. 52–54.
- 8 **Смирнов, В. Ю.** Прогнозирование надёжности технологического оборудования [Текст] / В. Ю. Смирнов, М. С. Деревенцев, Р. Г. Михайлов, В. В. Толстобров, А. В. Жданов // Материалы конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире». – 2015. – № 9–1. – С. 110–112.
- 9 **Баскакова, Н. Т.** Проблемы обеспечения надёжности и качества ремонтов металлургического оборудования [Текст] / Н. Т. Баскакова, Ю. В. Жиркин, Е. К. Чумичев // Качество в обработке материалов. – 2016. – № 2(6). – 2016. – С. 47–50.
- 10 **Исаева, Л. А.** Пыление и текучесть глинозема с различными физико-химическими свойствами [Текст] / Л. А. Исаева // Известия вузов : Цветная металлургия. – 2008. – № 6. – С. 20–26.
- 11 **Власов, А. А.** Использование глинозема песчаного типа для производства алюминия [Текст] / А. А. Власов, В. М. Сизяков, В. Ю. Бажин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 6. – С. 111–118.
- 12 **Ахметов, А. С.** Влияние гранулометрического состава на качество товарного глинозема [Текст] / А. С. Ахметов, А. Ж. Таскарина // Международная научная конференция молодых ученых, магистрантов,

студентов и школьников «XVIII Сатпаевские чтения» / ПГУ им. С. Торайгырова. – Павлодар, 2018. – Т. 18. – С. 203–210.

13 **Вечканов, А. В.** Разновидности современных ковшовых элеваторов и выявление путей их модернизации [Текст] / А. В. Вечканов, М. В. Юрьева // VIII Международный молодежный форум. 2016 «Образование, наука, производство». – Белгород, 2016. – С. 779–784.

14 **Носко, А.** Изучение конструкции и работы ковшового элеватора [Текст] : учебное пособие / А. Носко, С. Гнездилов, Е. Сафронов, Д. Пармузин. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 28 с.

15 Wang, Xing Li Alumina production theory & technology [Text] / Xing Li Wang // Changsha : Central South University. – 2010. – 411 p.

16 **Ибрагимов, А. Т.** Электрометаллургия алюминия. Казахстанский электролизный завод [Текст] : монография / А. Т. Ибрагимов, Р. В. Пак. – Павлодар : Дом печати, 2009. – 260 с.

17 **Набойченко, С. С.** Процессы и аппараты цветной металлургии [Электронный ресурс] : учебник / С. С. Набойченко и др. – Электронные текстовые данные. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2013. – 564 с.

18 **Ибрагимов, А. Т.** Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана [Текст] : учебник / А. Т. Ибрагимов, С. В. Будон. – Павлодар : Дом печати, 2010. – 299 с.

19 **Логинова, И. В.** Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии [Текст] : учебное пособие / И. В. Логинова, А. А. Шопперт, Д. А. Рогожников, А. В. Кырчиков. – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2016. – 253 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*К. К. Абишев<sup>1</sup>, Г. Т. Итыбаева<sup>2</sup>, А. Ж. Касенов<sup>3</sup>, Ж. К. Мусина<sup>4</sup>, А. Ж. Таскарина<sup>5</sup>*

**Элеватордың негізгі түйіндердің ресурстық энергия тиімділігін арттыру**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Металлургия, машина жасау және көлік факультеті,

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*K. K. Abishev*<sup>1</sup>, *G. T. Itybayeva*<sup>2</sup>, *A. Zh. Kasenov*<sup>3</sup>, *Zh. K. Mussina*<sup>4</sup>,  
*A. Zh. Taskarina*<sup>5</sup>

### **Increase of resource-energy efficiency of the main nodes of the elevator**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада элеватордың негізгі түйіндердің ресурстық энергия тиімділігін арттыруға арналған және глиноземді қабылдау торабын жаңғырту ұсынылған, ол негізінен пластиналы тізбекті Зәкір тізбегіне ауыстырудан тұрады. Қабылдау торабының жұмыс істеу қабілеттілігінің негізгі көрсеткіші Жабдықтың техникалық дайындық коэффициенті болып табылады және жоспарлы-алдын ала жөндеу мерзімділігіне кіреді.*

*Глиноземді қабылдау торабын пайдалануға енгізгеннен кейін және қазіргі уақытта зауыттың жөндеу қызметтері негізгі себебі пластиналы тізбекті конвейер мен керу жүйесінің тозуы болып табылатын элеваторларды жөндеуге жиі шығару проблемасына тап болды. Тозудың себебі тасымалданатын шикізат-глинозем болып табылады, олар өз құрылымы бойынша күшті абразивті қасиеттерге ие. Сонымен қатар, глиноземнің ұсақ фракциясы және оның агымдылығы элеватордың негізгі тораптарының жедел тозуына қызмет етеді.*

*Осылайша, глиноземді қабылдау торабының жетекті және тартпалы құрылғыларын жаңғырту, атап айтқанда пластиналы тізбекті зәкірге ауыстыру пайдалану мерзімін арттырады және жоспарлы-алдын ала жөндеу шығындарын азайтады. Бұдан басқа, тізбекті немесе барабандардың бірін қиған жағдайда элеваторды уақтылы тоқтату мақсатында жетек және тарту құрылғыларының айналу синхрондылығының датчиктерімен жабдықтау.*

*The article is devoted to improving the resource and energy efficiency of the elevator main components and proposed the modernization of the alumina receiving unit, which consists mainly of replacing the plate chain with an anchor chain. The main indicator of the efficiency of the acceptance site is the coefficient of technical readiness of equipment and is included in the frequency of preventive maintenance.*

*After commissioning of the alumina acceptance unit and up to now the repair services of the plant have faced the problem of frequent withdrawal of*

*elevators for repair, the main cause of which is the wear of the plate chain conveyor and the tension system. The cause of wear is the transported raw material-alumina, which by its structure has strong abrasive properties. In addition, the fine fraction of alumina and its fluidity, also serves as accelerated wear of the main components of the elevator.*

*Thus, the modernization of the drive and tensioning devices of the alumina acceptance unit, namely the replacement of the plate chain with the anchor chain, will increase the service life and reduce the cost of preventive maintenance. In addition, the equipment of rotation synchronicity sensors to the drive and tensioning devices in order to timely stop the Elevator in case of jamming the chain or one of the drums.*

**Ye. K. Aibuldinov<sup>1</sup>, M. S. Petrov<sup>2</sup>, R. M. Salikhov<sup>3</sup>,  
N. S. Bekturganov<sup>4</sup>, M. A. Nabiyev<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD, Kazakh University of Technology and Business, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Main engineer of project, TTU LTD 97-2-9H, St. Potersburg, 190000, Russian Federation;

<sup>3</sup>Main engineer of project, TTU LTD 97-2-9H, St. Potersburg, 190000, Russian Federation;

<sup>4</sup>Doctor of Science, Kazakh National Academy of Natural Sciences, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>5</sup>PhD, ON OLZHA LTD, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan  
e-mail: elaman\_@mail.ru

## **TECHNOLOGY OF PROCESSING OF OIL SHALES, LOW-GRADE COALS AND MUNICIPAL SOLID WASTES TO PRODUCE SYNTHETIC OIL, GAS, COKE AND ENERGY**

*A technology has been developed that makes it possible to efficiently process low-grade combustible minerals – shales, coals, bitumens, lignites, schungites, solid domestic and industrial waste. Products – oil, gas, coke, heat and electric power, synthesis gas, methanol, propylene, building materials. Environmental parameters comply with EU norms. The technology may serve as the basis for expanding mining of unused deposits.*

*Keywords: low-grade fuel, processing, pyrolysis, oil shale, coal, municipal solid waste.*

### INTRODUCTION

The efficiency of mining and the reserves of minerals being developed depend on the efficiency of the technologies for processing the extracted raw materials. Huge unused reserves of hydrocarbons and pure carbon exist in untouched natural deposits of low-grade fossil fuels, as well as in technogenic deposits – in landfills of municipal solid wastes. For example, brown coal resources in Russia are trillions of tons, and extraction is about 70 million tons per year. On the territory of Russia, about 180 oil shale deposits with shale oil reserves 190 billion tons, of which 10 billion tons of oil shale in the Leningrad region with an oil equivalent

of 1 to 1.5 barrels per ton. There are reserves of 1 billion tons of schungite with a carbon content of 30–90 % in Karelia. More than 31 billion tons of municipal solid wastes accumulated on the territory of Russia. Each year their volume increases by 60 million tons.

All listed above reserves are classified as low-grade combustible fossil, i.e. as fossils with physico-chemical characteristics that make them difficult to get involved in the fuel and energy balance due to high ash content, humidity, or low melting point of ash, or the presence and formation of hazardous substances. The availability of effective technology makes it possible to use these huge resources. Installations with a solid heat carrier (UTT) can successfully work with the application of various regimes: semi-coking, coking, steam pyrolysis, oxidative steam gasification. Such flexibility allows obtaining different target products in different proportions: synthetic oil, gas, coke, heat and electricity, synthesis gas with the further production of methanol, propylene, and polymers. The resulting ash does not contain carbon and can be used for the production of building materials, cement, ferroalloys, fertilizers, etc., which ensures the non-waste production. UTT installations are environmentally friendly – they work within the town boundaries in the European Union.

### TECHNOLOGY AND REFERENCES

The technology of high-speed pyrolysis of oil shale in installations with a solid heat carrier is based on the Galoter method, invented in 1947 by engineer I. Galynger, and developed by Energy Institute ENIN (Moscow). [1] The essence of the method is that pyrolysis of the raw material occurs when it is mixed with hot ash in a rotating drum reactor without oxygen access. The organic substance decomposes to form a vapor-gas mixture, which upon cooling forms various fractions of synthetic oil and gas. Semi-coke is combusted or gasified in an air-fountain furnace. Part of the hot ash is returned to the reactor to heat the fresh portion of the feed, the surplus of ash is cooled and removed from the process. Heat of ash, flue gas and synthesis gas is utilized in the recovery boiler to produce steam. [2] The technology is matured on commercial scale.

Seven UTT plants built in Estonia were designed with the participation specialists of TTU Ltd. Two UTT-3000 units, each with raw material capacity of 1 million tons per year have been operating efficiently since 1980 in Narva. In 2009 they were renamed to Enefit-140.[3] In 2006–2015, three UTT-3000 were built and commissioned in Kohtla-Jarve, renamed to Petroter. [4] Two UTT-500 built in Kivioli. Another plant Enefit-280 was built near Narva in 2012 without participation TTU Ltd. In general, six plants were built during 2006–2015 providing a 365 % increase in the oil shale processing capacity by the method Galoter from 2.0 to 7.8 million tons per year. Investments were about 600 million dollars, and production reached more than 8 million barrels of oil equivalent per year. Now in

Estonia oil shale brings oil, gas, heat and electric power, valuable chemical products and building materials from shale ash.

The specialists of TTU Ltd carried out additional researches and developments, took into account the experience of operating Estonian plants and made improvements to technological schemes allowing to produce from oil shale not only synthetic oil, gas, heat and electricity, but also products with higher added value and less dependence on World's oil price fluctuations – thiophenes, phenols, coke, synthesis gas with the possibility of further production of methanol, pure fuels, olefins and polymers.

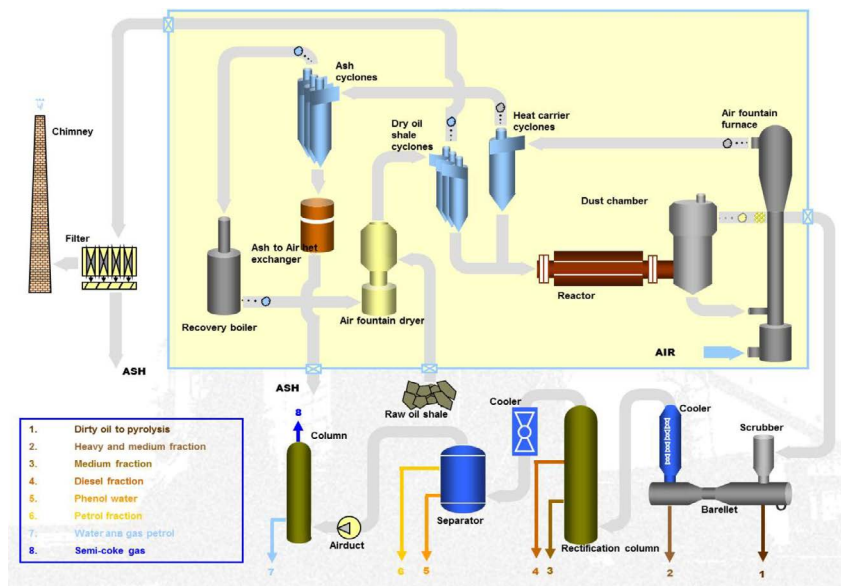


Figure 1 – Principal scheme of low-grade fuel processing in UTT

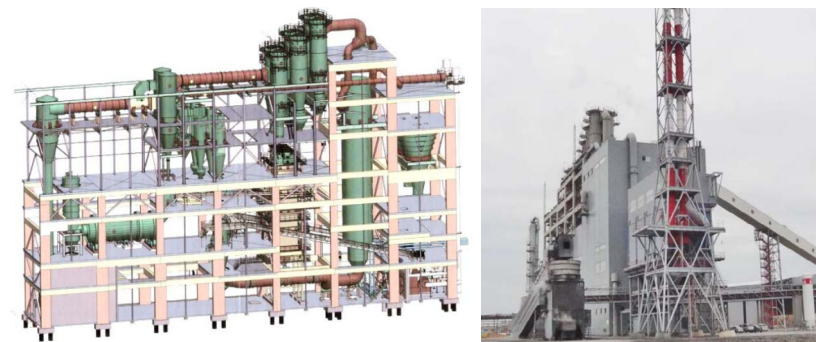


Figure 2 – Layout and general view of UTT installation

### OIL SHALE PROCESSING

The technical and economic evaluation of the oil shale mining and processing project at the Leningrad field of Baltic basin demonstrates high attractiveness for investors. For the construction of new Kirovskaya mine with capacity of 4 million tons per year and shale processing plant of 4 UTT-3000 lines, it will take about \$ 500 million over 6 years. Annual production will amount to: synthetic oil 3.7 million barrels, 720,000 MW-hours of electricity and 2 million tons of ash. Net profit will be about \$ 100 million per year with oil prices \$ 50 per barrel. Payback period 7 years. Internal rate of return is 26 %. With initial investments of \$ 500 million, the market value of the company's shares will be more than \$ 1.8 billion after reaching the projected capacity.

As another example, three variants were considered in the feasibility study of the oil shale development project in North Africa. [5] Oil shale has the following characteristics on the dry basis:

oil yield	8.47 % wt.
gas yield	4.7 % wt.
semi-coke yield	85.6 % wt.
carbon C	15.62 % wt.
hydrogen H	1.65 % wt.
oxygen O	8.0 % wt.
nitrogen	0.67 % wt.
sulfur S	2.27 % wt.
ash	71.79 % wt.
low heat value	1522 kcal/kg

Basic variant 1 – Oil production:  
 – Underground mine for 3 mln ton of oil shale per year;  
 – 3 installation for oil shale processing UTT-3000, each with capacity 3330 tons of oil shale per day or 1 mln tons per year;  
 – Power plant, consisting of turbine house equipped with 3x30 MW Back Pressure Steam turbines and generators;  
 – Distillation Desalination Plant with Multistage Flash Evaporation facilities where the exhausted steam from turbines is used for evaporation and desalination of sea water.

Variant 2 – Cement production. As variant No.2, it was considered additionally to basic variant to build Cement plant to produce 3 mln tpy cement from shale ash with added 2.7 mln tpy limestone using energy from oil shale;

Variant 3 – Polypropylene production. As variant No.3, alternative to No.2, was considered to build additionally to basic variant the Syngas-to-Polypropylene plant to produce 279 000 ton per year polypropylene instead of shale oil and shale gas. As well, instead of combustion of semi-coke there is gasification mode applied;

In the Table 1 the results of economic evaluation of the project are presented for three installations UTT-3000, 3 mln tpy, for period of life 33 years including 3 years construction period.

Table 1 – Economic parameters of variants

		Variant 1 Oil	Variant 2 Cement	Variant 3 Polypropylene
Investments	\$ mln	340	572	522
Products, quantities per year:				
Oil	barrels	1 381 132	288 733	-
Electricity	MW-h	400 864	220 864	587 124
Thiophenes	tons	24 300	24 300	24 300
Waterdesalinated	cu.m.	36 836 100	36 836 100	36 836 100
Ash	tons	2 057 400	1 057 400	2 057 400
Salt	tons	442 033	442 033	442 033
Cement	tons	-	3 000 000	-
Polypropylene	tons	-	-	279 000
Sales revenue, annual	\$ mln	160	206	309
Cash flow accumulated for project life	\$ mln	1 991	2 402	4 131
Internal Rate of Return (IRR)	%	24.3 %	19.2 %	29.5 %

Payback period from start (PBP)	years	6	7	6
Payback period from launch of production	years	3	4	3
Return on assets (ROA)	%	701	527	905
Discounted cashflow (DCF)	\$ mln	349	351	799
Discounting rate (DR)	%	10 %	10 %	10 %
Net present value (NPV) @ DR 10 %	\$ mln	349	351	799
Accounting rate of return (ARR)	%	23 %	17 %	30 %
Discounted payback period (DPBP)	Years	8	10	7
Market value of enterprise	\$ mln	749	939	1 519

### COAL PROCESSING

Low-graded coal can be processed in UTT plant with removal of humidity and volatile matter and with obtaining heat and electric power, coke, synthetic oil, gas, synthesis gas, ferroalloys. For example, sample of brown coal B2 was investigated [6]-[7].

Table 2 – Properties of brown coal of grade B2

		On «as received» basis	On dry basis
Water	W, % wt.	42,6	-
Volatile matter	V, % wt.	24,4	42,4
Ash	A, % wt.	6,1	10,6
Carbon	C, % wt.	34,5	60,1
Hydrogen	H, % wt.	2,1	3,6
Nitrogen	N, % wt.	0,5	0,9
Sulfur	S, % wt.	1,1	1,9
Oxygen	O, % wt.	13,1	22,9
High heat value	Qs, kJ / kg	13876	24175
Low heat values	Qi, kJ / kg	12385	23389

Variants of processing coal in UTT installation differ in the capacity of the plants (500 or 3330 tons per day), for the target product (coke or electricity) and for the presence of a drying covered warehouse.



Table 3 – Economic indicators by variants for one UTT

Variants	1	2	3	4	5
Installation model	UTT-500	UTT-500	UTT-3000	UTT-3000	UTT-3000
Drying warehouse	-	+	-	+	-
Investments, \$ mln	22,2	23,3	79,6	84,6	120,2
Coal feed, tons per day	500	500	3330	3330	3330
Coal humidity, %	43	20	43	20	43
Target product	coke	coke	coke	coke	electricity
Production, per day					
Oil, tons	8	12	56	77	56
Electricity, kW-hour	86 379	131 644	576 322	878 330	3 014 707
Coke, tons	164	242	1 097	1 614	145
Earnings EBITDA, \$ per day, including sales of:					
Oil	1 498	2 088	9 996	13 931	9 996
Electricity	2 159	3 291	14 408	21 958	75 368
Coke	16 443	24 191	109 706	161 400	14 231
Cash Flow, \$ per day	10 090	17 707	64 826	115 554	27 314
Payback period, years	7.32	4.38	4.09	2.44	14.67
Profit per ton of raw coal, \$	15	24	19	27	2

The profit per ton of raw coal is defined as the pre-tax profit (revenue minus costs and depreciation) attributed to a ton of the original processed (dried) raw coal with a moisture content of 42.6 %. The results show that processing low-graded coals in UTT can provide specific profit per ton of coal even more than raw coal market price because it transforms low-graded coal into high qualified products.

### SHUNGITE PROCESSING

The Republic of Karelia has reserves of shungite which are estimated at 1 billion tons with average calorific value of 4000 kcal / kg. This is higher than the heat of combustion of Baltic shales. In the region there are significant resources of metal ores suitable for the recovery of non-ferrous and rare metals. A well-known interest in the construction of metallurgical enterprises is shown by foreign investors. Implementation of intentions is hindered by the lack of energy resources in Karelia, 50 % of the energy demand is met by imported fuel. This problem can be solved by involving shungites in the energy balance with the construction of shungite-based power plants. Since the time of Peter the Great, until now, no technologies have been found that make it possible to use them as energy fuel because of the high ash content of the raw materials, the volatility of the composition, the fusibility of ash and the practical absence of volatile matter

in the combustible mass. Since the discovery of schungites, industrial experiments have been conducted to use them as boiler fuel and raw materials for the production of synthesis gas, but all of them were unsuccessful, were carried out without taking into account the natural features of schungites [8].

The combustion of schungites in the furnaces of steam boilers was accompanied by the formation of ash melts with the formation of agglomerates, preventing the distribution of blown air and disrupting the combustion process. To grind them, manual labor was required. Attempts to process shungites in gas generators for the production of synthesis gas were also unsuccessful for the following reasons:

- for the operation of the gas generator, a lump material of 25–125 mm size is required, but the lump shungite in the drying zone and the gasification zone cracked with the formation of fines because of high temperatures. This led to the formation of vaults and disruption of the material movement;

- in the combustion zone, as well as in the boilers, the formation of an ash melt occurred, which led to sticking and stopping of the movement of the solid phase.

The use of schungite as an energy fuel can be achieved using the UTT technology, in which the shungite is heated to its ignition temperature by mixing with the hot ash and is self-milling, then the mixture is partially burned and subjected to gasification in the presence of water vapor to form ash and synthesis gas. Synthesis gas is burned in boilers or used to produce methanol and plastics. For the organization of production, experimental research and design work is required. The construction period is 1.5–2 years. Capital costs for a power plant with one UTT unit with a capacity of 1 million tons per year will be 130–150 million dollars. With a shungite calorific value of 4000 kcal / kg, the capacity of the power plant is up to 200 MW.

### MUNICIPAL SOLID WASTE PROCESSING

Technogenic deposits of solid domestic and industrial wastes have the element composition similar to composition of oil shale, for example, Baltic one:

Table 4 – Element composition of oil shale and municipal solid waste, %

	C	H	O	N	S	Cl	Water	Ash
Oil shale	26.6	4.9	10.7	0.55	0.065	0.065	4.92	52.2
Municipal solid waste	34.7	6.4	14.0	0.8	0.1	0.1	5.0	38.9

The addition of activated lime CaO to solid municipal waste in a proportion of 10 % for the binding and neutralization of harmful impurities of sulfur and chlorine makes the compositions of shale and waste even closer.

The use of UTT plants for their processing [9], in addition to the successful solution of the environmental problem, has a number of advantages in comparison with the sorting and combustion of household waste at landfills:

– there is no need for preliminary sorting of garbage, except for the separation of metals. This avoids heavy manual labor and reduces operating costs. Instead of manually selecting secondary plastics, the technology makes it possible to produce industrial grade plastics through synthesis gas;

– UTT technology makes it possible to work to receive and dispose waste practically from the wheels, i.e. without a large warehouse on the site. The waste landfills cause mass pollution of the earth's surface and poisoning of the atmosphere, are dangerous for people;

– processing of solid waste by this technology gives a real profit through the sales of products and consequently will be self-supporting;

– in UTT installations together with waste, industrial waste from shale and coal mining accumulated in waste pits and sludge accumulators in previous years can be processed. In this way, it is possible to reclaim land occupied by waste;

– using UTT technology, it is possible to process municipal solid wastes accumulated in landfills over past years of operation, including those previously closed;

– unlike combustion technologies, UTT plants, when pyrolysis of raw materials, does not form a dangerous product like chlorodioxin, so the cost of their construction is much lower than the cost of incineration plants.

Expected economic indicators: specific capital investments 12 thousand rubles for 1 ton per year of solid waste versus 30–170 thousand rubles for incineration technology. The profit from processing 1 ton of solid waste will amount to 2,400 rubles against a loss of up to 1,200 rubles when burning or storing with sorting. When using UTT, products produced from each ton of crude solid waste: 60–150 kg of oil, 650 kW-h of electricity, 20–30 kg of ferrous and non-ferrous metals, asphalt mixtures.

## CONCLUSION

The presence of proved, matured and efficient processing technology makes it possible to involve low-grade fossils of natural and technogenic deposits into commercial balances of industry with a high social and economic effect.

## REFERENCES

1 **Blokhin, A. I., Zaretsky, M. I., Stelmakh, G. P., Eyvazov, T. C.** «New technologies of processing high-sulfurous oil shales». – M. : «Svetlyi Stan», 2001. – 192 p.

2 **Blokhin, A. I., Petrov, M. S., Salikhov, R. M., Kozhitsev, D. V., Golmshtok, E. I.**, «Method and apparatus for thermal processing of high-ash and low-grade solid fuels». Patent RU 2320699, 2006.

3 <https://www.energia.ee/en/tehnoloogia/oli-tootmine> [Electronic resources].

4 <https://www.vkg.ee/rus/razvitie/ispoljzuem-e-tehnologii/petroter> [Electronic resources].

5 **Salikhov, R. M., Petrov, M. S. et al.** «Feasibility study report : variants of oil shale project». – St-Petersburg : TTU, 2017.

6 **Salikhov, R. M., Petrov, M. S. et al.** «Investigation of brown coals' technology properties for processing in solid heat carriers installations». – St. Petersburg : TTU, 2018.

7 **Nabiev, M. A., Baysanov, S. O., Tolymbekov, M. G., Mukhambetgaliev, E. K., Baysanov, A. S.** «Alloy AlumoSilicaManganets». Patent KZ 26607, 2012.

8 **Filippov, M. M.**, «Shungit bearing rocks of Karelia: black Olonets earth, aspid shale, anthracite, shungit». – The Karelia Science Center of Russian Academy of Science, 2004. – 488 p.

9 **Golmshtok, E. I., Kozhitsev, D. V., Blokhin, A. I., Salikhov, R. M., Petrov, M. S., Stelmakh, G. P., Ovchinnikova, N. S.**, «Method and apparatus for processing solid communal wastes». Patent RU 2407772, 2008.

Material received on 04.06.20.

*Е. К. Айбульдинов<sup>1</sup>, М. С. Петров<sup>2</sup>, Р. М. Салихов<sup>3</sup>, Н. С. Бектұрғанов<sup>4</sup>, М. А. Набиев<sup>5</sup>*

**Синтетикалық мұнай, газ, кокс және энергия ала отырып, жанғыш тақтатастарды, төмен сұрыпты көмірді және қатты тұрмыстық қалдықтарды өңдеу технологиясы**

<sup>1</sup>«Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ,  
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2,3</sup>«ТТУ» ЖШС,

Санкт-Петербург қ., 190000, Ресей Федерациясы;

<sup>4</sup>Қазақстан Ұлттық жаратылыстану академиясы,  
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>5</sup>«Он-Олжа» ЖШС,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

Е. К. Айбульдинов<sup>1</sup>, М. С. Петров<sup>2</sup>, Р. М. Салихов<sup>3</sup>, Н. С. Бектурганов<sup>4</sup>,  
М. А. Набиев<sup>5</sup>

**Технология переработки горючих сланцев, низкосортных углей и твердых бытовых отходов с получением синтетической нефти, газа, кокса и энергии**

<sup>1</sup>АО «Казахский университет технологии и бизнеса»,  
г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>2,3</sup>ООО «ТТУ»,

г. Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация;

<sup>4</sup>Казахстанская национальная академия естественных наук,  
г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>ТОО «Он-Олжа»,

г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Төмен сапалы жанғыш пайдалы қазбаларды – тақтатасты, көмірді, битумды, лигнитті, шунгитті, қатты тұрмыстық және өндірістік қалдықтарды тиімді оңдеуге мүмкіндік беретін технология әзірленді. Өнімдер – мұнай, газ, кокс, жылу және электр энергиясы, синтез газы, метанол, пропилен, құрылыс материалдары. Экологиялық параметрлер ЕО стандарттарына сәйкес келеді. Технологиялар пайдаланылмаған кен орындарының өндірісін кеңейту үшін негіз бола алады.*

*Разработана технология, позволяющая эффективно перерабатывать горючие полезные ископаемые низкого качества – сланцы, угли, битумы, лигниты, шунгиты, твердые бытовые и промышленные отходы. Продукция – нефть, газ, кокс, тепло и электроэнергия, синтез-газ, метанол, пропилен, строительные материалы. Экологические параметры соответствуют нормам ЕС. Технология может послужить основой для расширения добычи неиспользуемых месторождений.*

SRSTI 73.37.81

**K. Aldamzharov<sup>1</sup>, K. Koshekov<sup>2</sup>, I. Pirmanov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Master of Economic Sciences, lecturer, Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan

e-mail: <sup>1</sup>kazbek\_a47@mail.ru; <sup>2</sup>kkoshekov@mail.ru; <sup>3</sup>ildar.pirmanov@mail.ru

## **RESEARCH OF ROBOT-MANIPULATORS WITH ADAPTIVE ALGORITHM OF CONTROL**

*Research and development of an adaptive algorithm of control by doubly-connected systems under conditions of parametric interval uncertainty, uncontrolled external limited perturbation, has become the focus and task of this study.*

*Keywords: adaptive algorithm of control, adaptive control of two link systems, robot-manipulators.*

### INTRODUCTION

The goal is to research and design an adaptive control of two link systems, and also to derive the control law for rotational power, and an adaptive control algorithm with estimating unknown parameters, under parametric uncertainty, with manipulation of unknown masses, so that the position of the links of the manipulator is accurately tracked, accuracy and convergence of the obtained algorithms, taking into account the influence of nonlinearities.

### MAIN PART

The formulation and solution of the problem for robot-manipulators is not as easy as it may seem, since they are subject to external perturbations that are generally unavailable for measurement due to the nature of the device and time-varying or unknown parameters of the object. These parameters are difficult to calculate or measure for geometrically compound objects, they limit the potential of robots. For effective operation of the facility management system, taking into account these uncertainties is mandatory. It is widely recognized that the accuracy of traditional methods of automatic control is insufficient to solve the problem of developing a high-speed system that does not depend on parameter uncertainties or external oscillations of the system. At the modern

stage of development of the principles of control there are methods that can solve such problems.

Two approaches are being actively studied to maintain the performance of manipulators in the presence of parameter of uncertainty: robust and adaptive control. By robust systems we mean control systems that ensure the fulfillment of the set criterion for the quality of the work of the system in the presence of uncertainties in the control object. The selected control structure provides low sensitivity to various kinds of changes in the nominal object model at the stage of the synthesis of the control algorithm. The main goal of adaptive control is to maintain a consistent operation of the system in the presence of uncertainty or an unknown variation in the parameters of an object. The estimation of uncertain parameters occurs in real time based on the measured signals of the system. The advantage of the adaptive approach is that the accuracy of a manipulator carrying unknown loads improves over time (as the adaptation mechanism continues to extract parameter information from tracking errors), so adaptive control potentially maintains consistent work under changing load conditions.

Aspects of implementation and combination with robust control. I want to consider the aspects of implementation, the efficiency of computations, and the combination of adaptation with robustness to certain and other parameters and interference.

#### 1) Aspects of implementation:

a) Since the load is usually fixed relative to the last link, it can be considered as part of the link. As a rule, the parameters of the manipulator itself should be measured or evaluated only once after its installation, possibly using offline assessment methods, since these parameters do not change from task to task. In practice, parameters are evaluated only online using an adaptive controller, therefore, the dynamic parameters of the load are equivalent to the arm of a robot. For example, the implementation of an adaptive controller of a manipulator with six degrees of freedom requires the adaptation of 10 equivalent dynamic parameters corresponding to the mass of the load, its center of mass (three parameters), and its moments of inertia (six parameters, that is,  $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, I_{xy}, I_{xz}, I_{yz}$ ). If required, Continuum Models of Coulomb and viscous friction can also be included, and the corresponding coefficients can be estimated in a similar way.

b) We can stop the calculation of the unknown parameter when it reaches a priori known limit, and resume the calculation as soon as the corresponding derivative changes a sign. This intuitively motivated procedure can be easily shown to keep track of convergence.

c) The algorithm can be implemented directly in the Cartesian reference system, simply by allowing:

$$\dot{q}_r = J^{-1}[\dot{x}_d + \Lambda(x_d - x)]$$

for a non-redundant manipulator with Jacobian matrix of manipulator,  $x$  and  $x_d$  mean the actual and desired Cartesian positions.

d) In the practical implementation of the aforementioned adaptive controller, the matrices can be updated at a slower rate than the speed used by the expressions  $\dot{q}_r$ ,  $\ddot{q}_r$ , and  $s$ , as well as to reduce computations, since error tracking expressions usually differ much faster than the dynamic coefficients of the matrix. Due to the presence of the second part of the control law in  $q_r$ , the controller cannot be implemented directly using the fast recursive Newton-Euler algorithms. The same is true for the matrix in the law of adaptation.

e) The previous analysis becomes invalid in the presence of drive saturation, which occurs when the torque indicated by the algorithm reaches the physical limit of the corresponding drive. Many practical approaches can be used to deal with the saturation of torque. The speed of the desired trajectories can be reduced, thereby reducing the required amount of torque from the actuator, since saturation usually occurs when the load is too high for a given speed and a given torque power. The regulator can also be temporarily changed in the mode of a conservative fixed parameter, when the torque exceeds the known physical limit of the corresponding actuator valve. In fact, the adaptation mechanism, in extracting parameter information from error tracking, cannot calculate differences, be it parameter errors or effect saturation. Estimation of online parameters, which are based solely on prediction errors and, therefore, do not depend on torque saturation, can be included to save estimates of load parameters for later use. The full operation of the adaptive regulator can be resumed when the torques, calculated on the basis of current parameter estimates, are returned to within the limits of acceptable values.

#### 2) Combination of adaptation with robust control:

In practice, the computational efficiency of the algorithm can be improved by not estimating all the unknown parameters. Some parameters, for example, index of friction in a direct driven robot, or transverse moments of inertia  $I_{xy}, I_{xz}, I_{yz}$  for loads with the correct shape, may have relatively little importance in dynamics, in this case, you can choose a robust regulator to the uncertainties of these parameters without estimating them online. Similarly, the center of mass of a load can be estimated with a reasonable degree of accuracy using CAD data. In addition, the regulator must be resistant to residual, time-varying disturbances, such as stickiness or torque ripple.

The torque calculation method is fairly standard approach, the formulation of which can be found in a number of works. In the absence of gravity, the input torque can be written as:

$$\tau = \hat{H}(\ddot{q}_d - K_1\dot{\tilde{q}} - K_2\tilde{q}) + \hat{C}\dot{q}$$

Take  $K_1$  and  $K_2$ , as scalar matrix

$$K_1 = \text{diag}(2\omega_1, 2\omega_2),$$

$$K_2 = \text{diag}(2\omega_1^2, 2\omega_2^2)$$

where,  $\omega_1$  and  $\omega_2$  are two positive numeral constants. With this choice of  $K_1$  and  $K_2$ , critically damped error dynamics will be obtained if exact parameters are used. The choice of  $K_1$  and  $K_2$ , is experimental, as before, the best values of  $\omega_1$  and  $\omega_2$  are defined as

$$\omega_1 = 20 \text{rad} \cdot \text{S}^{-1}$$

$$\omega_2 = 30 \text{rad} \cdot \text{S}^{-1}$$

The design parameters of the adaptive controller are the same as earlier, except that  $G$  is doubled, as acceptable initial parameters are already available. The values of the parameters that are used for the torque calculation method and as the initial values of the adaptive control are:

$$a_1 = 0,11 \text{kg} \cdot \text{m}^2,$$

$$a_2 = 0,0285 \text{kg} \cdot \text{m}^2,$$

$$a_3 = 0,033 \text{kg} \cdot \text{m}^2,$$

$$a_4 = 0$$

## CONCLUSIONS

In practice, the user always has some prior knowledge of the parameters of the robots, possibly, by calculation, based on design data. This information can be used to initialize parameter estimates in an adaptive scheme, and temporarily stop adaptation from a parameter if a known limitation is reached. A popular alternative way to use a priori parameter estimates is to use a model based on fixed-parameter regulators, such as a torque calculating method. In this set of experiments, the performance of the torque calculations and the adaptive controller are compared using a priori parameter estimates as nominal parameters in the torque calculations and as the initial parameters of the adaptive controller.

## REFERENCES

- 1 **Никифоров, В. О.** Наблюдатели внешних детерминированных возмущений. Объекты с неизвестными параметрами // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 10. – С. 13–24.
- 2 **Никифоров, В. О.** Наблюдатели внешних детерминированных возмущений. Объекты с неизвестными параметрами // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 11. – С. 40–48.
- 3 **Тao, G., Ioannou, P. A.** Model reference adaptive control for plants with unknown relative degree // IEEE Trans. On Automatic Control. – 1993. – V. 38. – N.6., – P. 976–982.
- 4 **Craig, J.,** Adaptive Control of Mechanical Manipulators. – Reading, MA. : Addison Wesley, 1985. – P. 190–195.
- 5 **Slotine, J., and Li, W.** «Theoretical issues in adaptive control» // 5th Yale Workshop on Applications of Adaptive Systems Theory. – Yale University, New Haven, CT, 1985(a). – P. 252–259.
- 6 **Ortega, R., and Spong, M.** «Adaptive motion control of rigid robots: a tutorial» / Proc. IEEE Conf Decision Control. – Austin, TX, 1988.
- 7 **Landau, Y.,** Adaptive Control : The Model Reference Approach. – New York : Marcel Dekker, 1979. – P. 406.

Material received on 04.06.20.

*К. Б. Алдамжаров<sup>1</sup>, К. Т. Кошекoв<sup>2</sup>, И. А. Пирманов<sup>3</sup>*

**Адаптивті басқару алгоритмімен робот-манипуляторларды зерттеу**  
<sup>1,2,3</sup>Азаматтық авиация академиясы,  
 Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы.  
 Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*К. Б. Алдамжаров<sup>1</sup>, К. Т. Кошекoв<sup>2</sup>, И. А. Пирманов<sup>3</sup>*

**Исследование роботов-манипуляторов с адаптивным алгоритмом управления**

<sup>1,2,3</sup>Академия Гражданской Авиации,  
 г. Алматы, 050039, Республика Казахстан.  
 Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Параметрлік интервалдық белгісіздік, бақыланбайтын сыртқы шектеулі бұзылу жағдайында екі байланысты жүйелерді басқарудың адаптивті алгоритмін зерттеу және әзірлеу осы зерттеудің тақырыбы мен міндетіне айналды.*

*Исследование и разработка адаптивного алгоритма управления двусвязными системами в условиях параметрической интервальной неопределенности, неконтролируемого внешнего ограниченного возмущения стали предметом и задачей настоящего исследования.*

ГРНТИ 20.15.13

**А. Ж. Амиров<sup>1</sup>, Д. Динмухаммедұлы<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD, Факультет инновационных технологий, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистр, преподаватель, Факультет инновационных технологий, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>2</sup>din.d.kz@gmail.com

**КОРОТКАЯ ПЕТЛЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ  
ДЛЯ СОЛО-КОДИНГА**

*В статье рассматриваются вопросы об использовании петли обратной связи, созданная полковником ВВС США, Джоном Бойдом. Данная концепция позволяет правильно и последовательно разработать и протестировать программное обеспечение. Проводится анализ каждого этапа и большое внимание заостряется именно на примерах, которые используются и по сей день не теряя актуальности. Также отмечается, что правильным действием является не только создание и тестирование, но и такие действия как автоматизация рабочего процесса, а также обновление целей и процессов после прохождения определенного цикла.*

*Ключевые слова: петля, цикл обратной связи.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Сравнивая опыт с предыдущей работой в компаниях, что у тех из нас, кто работает в одиночку, может быть меньше итеративных возможностей для улучшения, чем у разработчиков, работающих в командах. Чтобы иметь возможность улучшаться, нам нужно принять концепцию короткой обратной связи. Это процесс непрерывного включения нового обучения из наблюдений и предыдущего опыта в течение короткого периода времени. Этот процесс должен производиться людьми, работающими в основном в одиночку, а не, как это часто бывает, принятыми, когда вы присоединяетесь к команде.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ****О петлях обратной связи**

Полковник ВВС США Джон Бойд разработал концепцию петли OODA, которая является аббревиатурой «наблюдать, ориентировать,

решать, действовать» (**observe, orient, decide, act**). В военных операциях это иллюстрирует процесс принятия решений, основанный на постоянном приеме новой информации:

**Наблюдать:** получить необработанную информацию о происходящих обстоятельствах и текущей обстановке.

**Ориентировать:** поместите необработанные наблюдения в контекст. Подумайте о таких вещах, как отношение к текущей ситуации и ранее приобретенным знаниям и опыту.

**Решать:** составьте план движения к своей цели.

**Действовать:** Выполнить план.

Так как это цикл, этап действия ведет прямо к этапу наблюдения. Это критическая концепция «обратной связи», которая позволяет проводить все более успешные итерации. Он широко применим за пределами военных операций – вы можете распознать его как источник метода PDCA (plan-do-check-act).

Поскольку OODA является краткой иллюстрацией общего цикла обратной связи. Многие концепции и методы работы основаны на идее циклов обратной связи, включая гибкие методы разработки программного обеспечения.

#### **Цикл обратной связи команды разработчиков**

Давайте посмотрим, как могут выглядеть некоторые компоненты цикла обратной связи для разработчика в команде:

- 1 Указания от владельцев продукта или отзывы пользователей
- 2 Ежедневные схватки / ссоры со всей командой
- 3 Расстановка приоритетов с командой разработчиков
- 4 Индивидуальное кодирование и тестирование
- 5 Развертывание и мониторинг производительности

На этих этапах подразумевается поддержка сотрудников и руководства, иными словами, кто-то, кому нужно ответить. Как индивидуальный внештатный разработчик может создать похожую среду подотчетности?

#### **Индивидуальный цикл обратной связи с разработчиком**

Вот несколько возможных шагов, которые отдельные независимые разработчики могут реализовать, чтобы создать короткий цикл обратной связи:

- 1 Построить дисциплину
- 2 Уточнить конкретные цели высшего уровня
- 3 Расставьте приоритеты и спланируйте цели среднего и низкого уровня
- 4 Автоматизируйте свою работу
- 5 Заблокируйте время для проверки кода

6 Заблокируйте время для обзора процесса

7 Обновите ваши цели и процессы с результатами ваших обзоров

#### **Построить дисциплину**

Построение дисциплины – это скорее предварительное условие, чем сама по себе стадия, и это позволяет нашему короткому циклу обратной связи работать. Ничто другое в этой статье не поможет, если у нас не будет умения делать то, что мы не хотим делать. Дисциплина, безусловно, умение. Это может быть изучено, обучено, и улучшено как любой другой.

Почему дисциплина так важна? Потому что, когда мы решаем завершить проект в эту пятницу вечером, мы не собираемся писать хорошее сообщение о коммите. Мы не собираемся убирать комментарии к коду. Именно в эти моменты дисциплина позволяет нам не упускать возможность практиковаться, учиться и улучшать наш рабочий процесс. Дисциплина помогает нам избежать коммитов.

#### **Уточнить конкретные цели высшего уровня**

Неважно, работаете ли вы на клиента или запускаете наше самое лучшее новое приложение, мы не сможем измерить какой-либо прогресс или улучшения без чего-либо, с чем их можно было бы сравнить.

Когда обсуждаете новый проект с клиентом, всегда говорите о конкретных достижениях. Это может принять форму выполнения определенной функции к определенной дате или принятия решения о том, как MVP (минимальный жизненный продукт) выглядит для пользователя. Это так же для разработчика, как и для клиента. Согласовав в письменной форме, что будет достигнуто и когда, мы с клиентом четко определили цели высшего уровня и можем как оценить, как продвигается проект.

Когда работаете на себя, отношение к себе должно быть такое, как к клиенту. Обязуетесь письменно описать, что и когда будет достигнуто. Это может быть что-то простое, например, список целей на неделю, или подробное.

Однако смысл конкретной цели – не придерживаться ее любой ценой. Важно рассчитывать, что мы и наши клиенты ожидаем, что цели будут пересмотрены в взаимоприемлемые сроки в течение всего проекта. Это позволяет все важные «обратной связи» части цикла.

#### **Расставьте приоритеты и спланируйте цели среднего и низкого уровня**

Немногие цели достигаются за один шаг. Даже простой процесс приготовления бутерброда с арахисовым маслом и желе (любимый учебный пример компьютерного программирования) можно разбить на последовательно более мелкие, более точные инструкции. В то время как мы, люди, не можем требовать гранулярности, которую делает компьютерная

программа, цели, которые разбиты на куски по времени, достижимым шагам, гораздо легче усваиваются.

Начните с целей среднего уровня и сделайте каждый шаг конкретным. Например, если целью является выпуск нового веб-приложения с открытым исходным кодом, шаги могут выглядеть следующим образом:

- 1 Завершите приложение JavaScript
- 2 Создать интерфейс и таблицу стилей
- 3 Провести локальные тесты
- 4 Настройте облачный сервер
- 5 Разверните приложение в облаке
- 6 Делать тесты
- 7 Добавьте репозиторий в GitHub
- 8 Публикация на хакерских новостях
- 9 Прибыль.

Каждый из приведенных выше примеров включает в себя множество более мелких целей низкого уровня – мы можем думать о них как о наших элементах списка дел. Например, «Настройка облачного сервера» может включать:

- 1 Исследования облачных провайдеров
- 2 Выберите сервис и зарегистрируйтесь.
- 3 Настройте сервер / экземпляр
- 4 Добавить интеграции
- 5 Тестовое развертывание

Наши параметры для размеров куска и того, что составляет «шаг», могут отличаться друг от друга и, вероятно, будут меняться от проекта к проекту. Если ваши шаги среднего и низкого уровня четко определяют конкретный путь для достижения поставленных вами целей верхнего уровня, то вы в хорошей форме. Позже, оценка процесса принятия решений, который привел нас к этим целям среднего и низкого уровня, позволяет нам завершить цикл обратной связи.

#### **Автоматизируйте свою работу**

«Ручная работа – это ошибка». В этих словах описывается процесс, с помощью которого успешные разработчики документируют и в конечном итоге автоматизируют свою работу. Прелесть этой идеи в ее простоте. Записывая то, что мы делаем вручную, мы можем исправлять и совершенствовать наши процессы. Уточняя наши процессы, мы можем легче перевести их в фрагменты кода и сценарии. С набором скриптов, которые мы можем связать вместе, мы можем автоматизировать нашу работу.

Автоматизация работы – это не только экономия времени. Это уменьшает количество ошибок, сводит к минимуму когнитивную нагрузку,

предоставляя больше возможностей для творчества, и позволяет повторять наши процессы для всех сотрудников и проектов. Это помогает сократить цикл обратной связи, гарантируя, что мы не делаем одно и то же три раза тремя разными способами.

Мы можем начать автоматизировать, запустив нашу личную вики. Если мы выработаем привычку записывать каждую ручную работу, какой бы простой она ни казалась в то время, мы дадим себе больше возможностей для определения шаблонов и, следовательно, возможных интеграций и улучшений.

В первый раз, когда мы делаем что-то вручную, мы выписываем шаги. Во второй раз мы следуем за шагами. Это дает нам возможность исправить и уточнить их на основе того, что мы узнали с первого раза.

В течение последовательных итераций мы могли бы заменить части ручных команд переменными. Мы могли бы найти полезные фрагменты скриптов bash, которые автоматизируют лишь часть нашей задачи. Пока мы продолжаем пересматривать и улучшать нашу личную вики, мы движемся к автоматизации.

#### **Заблокировать время для проверки кода**

Когда мы работаем в одиночку, слишком легко делать беспорядочный код. Мы думаем, кто это увидит? Я исправлю это позже. Однако каждый раз, когда это происходит, мы вырабатываем привычку. Это плохо.

Работа в одиночку означает, что никто не может дать отзыв о наших коммитах, когда мы делаем что-то, что не имеет смысла или может быть улучшено. Вместо этого мы должны активно искать возможности для улучшения. Сообщества с открытым исходным кодом удивительны для этого. Нам доступно огромное количество информации о стилях кодирования, примерах рефакторингового кода и шведском столе из фрагментов, которые дают то, что мы пытались сделать, но в несколько строк. Мы можем узнать все, что пожелаем, если просто заблокируем время, чтобы сделать это.

Запланируйте свою собственную проверку кода на время, которое имеет смысл для вас и проекта, над которым вы работаете. Это может происходить каждый раз, когда вы заканчиваете исправление или функцию, или с регулярными интервалами ежедневно или еженедельно. Если у вас есть кто-то, кто может помочь, закажите его. Есть также чаты, полные людей, которые рады протянуть руку помощи.

Проведите исследование основных лучших практик для того, над чем вы работаете. Установите себе ограничение по времени и возьмите то, что вы прочитали, с долей соли. В этой области много кроличьих нор. В качестве отправной точки я бы порекомендовал узнать о DRY-коде и посмотреть, как требует профессионализма в разработке программного обеспечения.



**Контрольный список проверки кода**

Вот шаблонный контрольный список проверки кода, основанный на некоторых общих рекомендациях.

- 1 Это решает высокоприоритетный предмет.
- 2 Это полная реализация, которая следует спецификации.
- 3 Не по теме изменения не были включены и были добавлены в отставание.
- 4 Имена переменных имеют смысл и не имеют магических чисел.
- 5 Правильные и полезные сообщения об ошибках возвращаются при каждой возможности.
- 6 Отладочных операторов печати не осталось.
- 7 Этот код является СУХИМЫМ и модульным.
- 8 Этот код безопасен. Частный и открытый код хорошо разделены.
- 9 Этот код является собственной документацией или документация обновлена.
- 10 Пятилетний ребенок мог бы следить за этим, серьезно, это так легко читаемо.
- 11 Юнит-тесты успешно пройдены.
- 12 Мастер был объединен с веткой и протестирован.
- 13 Форматирование соответствует рекомендациям по стилю.
- 14 Я не могу найти дальнейшие крайние случаи или известные дефекты.
- 15 Я был бы рад, если бы этот код был публично приписан мне.
- 16 Я полностью понимаю, что делает код, и влияние изменений, которые я сделал.
- 17 Я действительно проверил, что он действительно делает то, что сказал.

Вот отличный пример очистки кода с учетом некоторых из вышеперечисленных моментов.

**Заблокировать время для обзора процесса**

Подобно тому, как мы учимся, просматривая наш код, мы также улучшаем наши процессы, просматривая их. Процесс обзора наиболее полезен при регулярном посещении проекта, а не только после его завершения.

Для краткосрочных проектов, хорошая отправная точка для планирования процесса рассмотрения находится на каждой половине отметки – один раз в середине, и снова после завершения. Долгосрочные проекты могут иметь отзывы на каждой четверти.

**Процесс обзора вопросов**

Процесс обзора может быть простым, как краткий список вопросов:

- 1 Каковы были мои главные цели на этот период? Я с ними встречался?

- 2 Каковы были мои цели среднего и низкого уровня на этот период? Я с ними встречался?

- 3 Мне бы лучше служили с другими или более конкретными целями? Зачем?

- 4 Успешно ли я удалил или автоматизировал препятствия?

- 5 Я придерживался своего графика проверки кода? Почему или почему нет?

- 6 Как я могу устранить препятствия в следующий раз?

Если выделить время для проверки процесса, мы можем вдумчиво и честно ответить на подобные вопросы. Это позволяет нам извлекать все уроки, которые мы можем извлечь из нашего обзора, помогая сократить цикл обратной связи.

**Обновите ваши цели и процессы с результатами ваших обзоров**

Все данные о производительности в мире бесполезны для нас, если мы не применяем их на практике. С каждым последующим просмотром кода мы можем уточнить и добавить его в наш контрольный список. На основании того, что мы узнаем из каждого обзора процесса, мы можем точно настроить и улучшить наши процессы. Чем больше мы сможем изобрести конкретные и заметные способы реализации нашего обучения, тем больше у нас будет успехов.

Осознанное стремление использовать и практиковать то, что мы узнали, является последним, жизненно важным компонентом нашего цикла обратной связи. Чем чаще мы внедряем новое обучение, тем короче становится наш цикл, что позволяет нам совершенствоваться намного быстрее.

**ВЫВОДЫ**

Цикл OODA делает наш процесс принятия решений невидимым. Сделав это явным образом, Бойд предложил несравненный стратегический инструмент для всех, от солдат и военнослужащих до предприятий и спортивных команд, лидеров общественных движений и политических активистов, чтобы лучше управлять своими процессами принятия решений.

С тех пор, как я начал исследовать петлю OODA, я получил новое понимание в целом ряде областей. Понимание цикла OODA также помогло мне стать более стратегическим.

Не обманывайтесь простотой петли OODA – у нее есть сила и потенциал, чтобы изменить вашу жизнь. Когда вы начнете смотреть на свою жизнь сквозь призму Цикла, вы получите представление о том, как добиться успеха, о котором иначе вы бы не заметили. Следуйте Дао Бойда, и вы сможете сделать что-то в этой жизни, а не просто быть кем-то.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Mitchell Mark E.** Strategic leverage : information operations and special operations forces / Mark E. Mitchell // Naval postgraduate school Monterey, California. – 1999. – 231 p.

2 **Brehmer, B.** The dynamic OODA loop : Amalgamating Boyd's OODA loop and cybernetic approaches to command and control / B. Brehmer // 10th International Command and Control Research and Technology Symposium. – McLean, VA, 17–21 June, 2005. – 15 p.

3 **Angerman, W. S.** Coming full circle with Boyd's OODA loop ideas: an analysis of innovation diffusion and evolution / W. S. Angerman. – Air Force Institute of Technology, 2004. – 141 p.

4 [http://www.iwar.org.uk/rma/resources/c4i/jp3\\_13\\_1.pdf](http://www.iwar.org.uk/rma/resources/c4i/jp3_13_1.pdf). [Электронный ресурс].

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*A. Zh. Amirov<sup>1</sup>, D. Dinmukhammeduly<sup>2</sup>*

**Жеке кодтауға арналған қысқа кері байланыс циклі**

<sup>1,2</sup>Инновациялық технологиялар факультеті,  
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,  
Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. Zh. Amirov<sup>1</sup>, D. Dinmukhammeduly<sup>2</sup>*

**Short feedback loop for solo coding**

<sup>1,2</sup>Faculty of Innovative Technologies,  
Karaganda State Technical University,  
Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Бұл мақалада АҚШ әскери-әуе күштерінің полковнигі Джон Бойд жасаған кері байланыс циклі туралы айтылады. Бұл тұжырымдама бағдарламалық жасақтаманы дұрыс және жүйелі түрде жасауға және тестілеуге мүмкіндік береді. Әр кезеңнің талдауы өткізіліп, қазіргі уақытта өзектілігін жоғалтпай қолданылатын мысалдарға көп көңіл бөлінеді. Сондай-ақ, дұрыс әрекет жасау және тестілеу ғана емес, сонымен қатар белгілі бір циклден кейін мақсаттар мен процестерді жаңарту сияқты жұмыс процесін автоматтандыру сияқты іс-әрекеттер жасалатындығы атап өтілді.*

*This article discusses the use of the feedback loop created by US Air Force Colonel John Boyd. This concept allows you to correctly and consistently develop and test software. An analysis of each stage is carried out and much attention is focused on examples that are used to this day without losing relevance. It is also noted that the right action is not only the creation and testing, but also such actions as automation of the work process, as well as updating goals and processes after passing a certain cycle.*

**О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, Д. К. Саржанов<sup>2</sup>, К. К. Абишев<sup>3</sup>,  
Б. Г. Молдабаев<sup>4</sup>, Е. С. Жексенбаев<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Промышленный транспорт», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, кафедра «Маркетинга и логистики», Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, декан Факультета металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>докторант, кафедра «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистрант, кафедра «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>balabaev.ot@mail.ru; <sup>2</sup>dauren78@mail.ru; <sup>3</sup>a.kairatolla@mail.ru;

<sup>4</sup>baurmoldabaev62@mail.ru; <sup>5</sup>ela-kazakh@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРЕПЕЖНЫХ УЗЛОВ ПЛАСТИН КОНВЕЙЕРА**

*В данной статье представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных в области определения напряженно-деформированного состояния крепежных узлов пластин конвейера. Исследования выполнены в программной среде SolidWorks «Simulation». Получена зависимость механических напряжений в материале конструкции крепежных узлов пластин конвейера от задаваемой внешней силы – при пределе текучести в материале – 620,4 МПа. На разработанную методику получено свидетельство интеллектуальной собственности.*

*Ключевые слова: конвейерный транспорт, пластинчатый конвейер, пластина, крепежный узел, напряженно-деформированное состояние.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

В Карагандинском государственном техническом университете, выполнена работа по разработке пластинчатого конвейера [1–4]. Разработанный конвейер имеет следующий технический результат – снижение динамических нагрузок и увеличение длины пластинчатого конвейера в одном ставе. Этот технический результат достигается тем, что в конструкцию пластинчатого конвейера внесены следующие изменения: к раме конвейера закреплены статоры линейных двигателей, а роторы линейных двигателей закреплены к оси ходовых роликов с ребордой; пластины соединяются между собой через узел шарнирного соединения [1].

Для более высокой точности определения рациональных конструктивных параметров, необходимо было провести детальные исследования с разработкой математических моделей и проведением экспериментов. Одним из первых завершённых этапов данного исследования, является разработанная методика по определению напряженно-деформированного состояния крепежных узлов пластин конвейера (КУПК) [4].

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

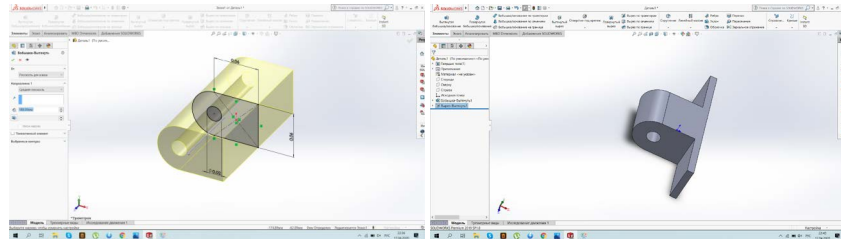
Данная методика выполнена на основе проведенных экспериментальных исследований в программной среде SolidWorks «Simulation». Исследования исполненные в программе SolidWorks включали следующие виды работ:

1 *Установление влияющих факторов и выходных показателей.* В качестве влияющих факторов ( $F_i/S$ , МПа) принимаются задаваемые значения силы  $F_i$  (Н), которые нагружаются на определенную площадь  $S$  ( $m^2$ ) рассматриваемой конструкции КУПК. В качестве выходных показателей выбираются – механические напряжения  $\sigma_i$  (МПа), которые возникают в конструкции КУПК.

2 *Выбор числа испытаний.* Исходя из вышеуказанных условий и согласно методике рационального планирования экспериментов, для проведения исследований необходимо предварительно проделать 8 испытаний для рассматриваемой конструкции КУПК.

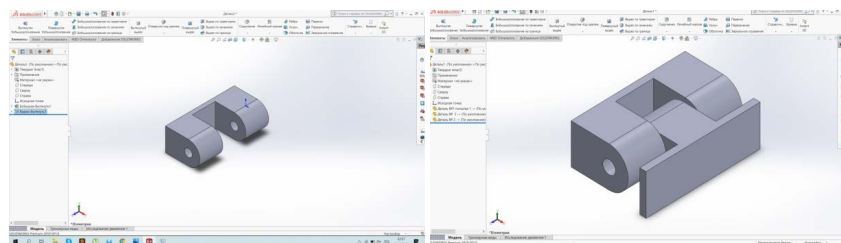
3 *Провести исследования в программной среде SolidWorks «Simulation»,* при выполнении которого необходимо осуществить: моделирование конструкции КУПК; проведение испытаний конструкции; обработка результатов испытаний конструкции.

Моделирование конструкции КУПК в программе SolidWorks начинается с создания по размерам эскиза (рисунок 1, а), и в дальнейшем, при помощи команд «Вытянутая бобышка» и «Вытянутый вырез» (рисунок 1, б-в), необходимых элементов 3D модели. Полученная 3D модель конструкции КУПК представлена на рисунке 1, г.



а)

б)

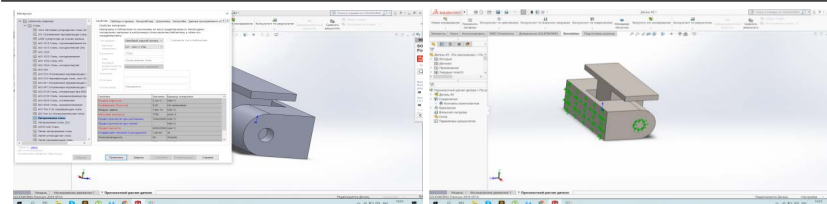


в)

г)

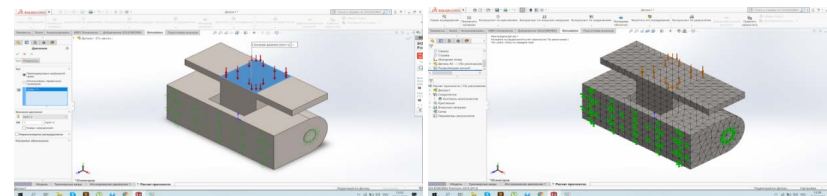
Рисунок 1 – Создание 3D модели конструкции КУПК

После процесса моделирования конструкции КУПК, необходимо подготовить ее к проведению эксперимента, путем задания свойств материала конструкции (рисунок 2, а), процедура крепления конструкции, используя функцию «Зафиксированная геометрия» (рисунок 2, б), а также задаются сила и направление усилия, действующего на конструкцию (рисунок 2, в). После указания всех сил и моментов, действующих на конструкцию КУПК, запускается процесс расчёта сетки (рисунок 2, г) методом конечных элементов, по которой в дальнейшем происходит определение всех изменений. Далее проводится прочностной расчет конструкции КУПК с учётом заданных параметров.



а)

б)

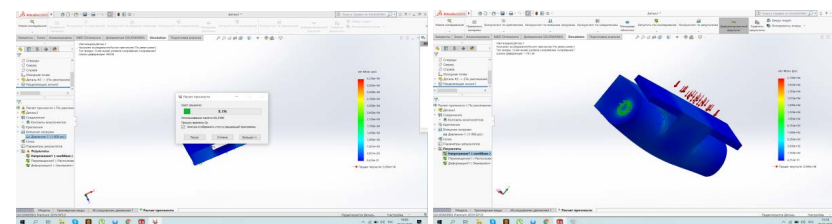


в)

г)

Рисунок 2 – Проведение расчета конструкции КУПК в программной среде SolidWorks «Simulation»

Всего проведено 8 запланированных испытаний с изменением влияющих факторов, которые нагружаются на рассматриваемую конструкцию КУПК (рисунок 3, а). По окончании каждого испытания программа SolidWorks «Simulation» выдаёт эпюры напряжений конструкции КУПК с результатами расчета выходных показателей (рисунок 3, б).



а)

б)

Рисунок 3 – Результат расчета конструкции КУПК в SolidWorks «Simulation»

По результатам 8 испытаний, проведенным в программной среде SolidWorks «Simulation» получена экспериментальная зависимость (рисунок 4) механических напряжений  $\sigma_{zi}$  (МПа) в материале конструкции КУУИ от задаваемой внешней силы  $F_i$  (Н) на площадь  $S$  ( $m^2$ ), при пределе текучести 620,4 МПа.

Для исследования закономерностей связи между влияющими факторами ( $F_i/S$ , МПа) и выходными показателями ( $\sigma_{эп}$ , МПа) найдено эмпирическое уравнение:

$$y_{Ti} = a \cdot e^{bx_i} = 104,8895 \cdot e^{0,0639 \cdot x_i} \quad (1)$$

где  $x_i$  – влияющие факторы,  $F_i/S$ , МПа;

$y_{Ti}$  – выходные показатели,  $\sigma_{TТ}$ , МПа.

Сходимость экспериментальной и теоретической регрессии представлена на рисунке 4. Как видно из расчетов (таблица 1) по эмпирическому уравнению (1), сходимость оказалась хорошей – погрешность не превышает 20 %.

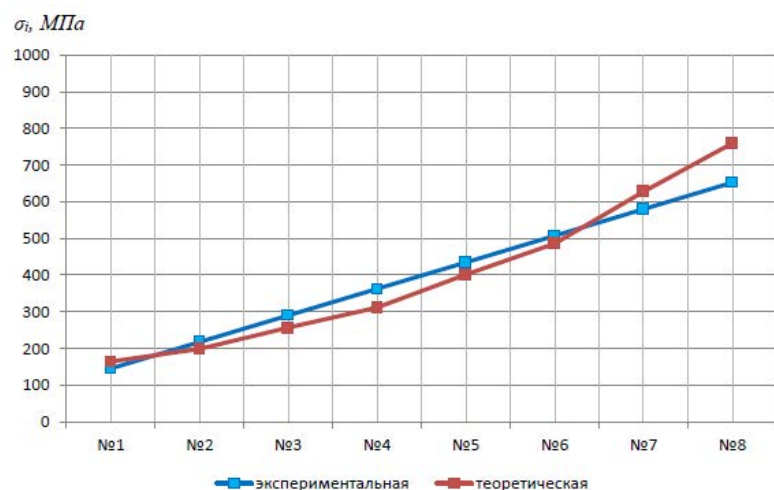


Рисунок 4 – Сходимость экспериментальной и теоретической регрессии

Таблица 1 – Результаты расчета сходимости регрессии

Показатели	Испытания							
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
$F_i/S$ , МПа	7	10	14	17	21	24	28	31
$\sigma_{эп}$ , МПа	145	217	290	362	434	507	579	652
$\sigma_{TТ}$ , МПа	164	199	256	311	401	486	627	759

## ВЫВОДЫ

Приведенные результаты исследований, на наш взгляд, имеют серьезное прикладное значение, что, несомненно, будут интересны для инженерно-технических и научных работников, занимающихся исследованиями в области конвейерного транспорта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Рожков, А. В., Акашев, А. З., Балабаев, О. Т., Молдабаев, Б. Г., Куанышбаев, А. Б. Жексенбаев, Е. С.** «Пластинчатый конвейер». Заявление о выдаче патента РК на изобретение № 2019/0928.1 19.12.2019.

2 **Саржанов, Д. К., Балабаев, О. Т., Жексенбаев, Е. С.** Пластинаты конвейердің құрылымын әзірлеу пластиналардың топсалы қосылуымен. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы транспорта и энергетики : пути их инновационного решения». – Астана : ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2020.

3 **Саржанов, Д. К., Балабаев, О. Т., Жексенбаев, Е. С.** Пластинчатый конвейер с шарнирным соединением пластин. Материалы IX Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». – Междуреченск : КузГТУ, 2020.

4 **Балабаев, О. Т., Рожков, А. В., Молдабаев, Б. Г., Жексенбаев, Е. С.** Методика определения напряженно-деформированного состояния крепежных узлов пластин конвейера. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 9672 от 06.05.2020.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*О. Т. Балабаев<sup>1</sup>, Д. К. Саржанов<sup>2</sup>, К. К. Абишев<sup>3</sup>, Б. Г. Молдабаев<sup>4</sup>, Е. С. Жексенбаев<sup>5</sup>*

**Конвейер пластиналарының бекіту түйіндерінің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу**

<sup>1,4,5</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>Қазтұтынуодағы қарағанды экономикалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

О. Т. Balabayev<sup>1</sup>, D. K. Sarzhanov<sup>2</sup>, K. K. Abishev<sup>3</sup>, B. G. Moldabaev<sup>4</sup>,  
E. S. Zheksenbayev<sup>5</sup>

### The study of the stress-strain state of the mounting nodes of the conveyor plates

<sup>1,4,5</sup>Karaganda State Technical University,  
Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Karaganda Economic University of Kazpotrebsouz,  
Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Бұл мақалада конвейер пластиналарының бекіту түйіндерінің кернеулі-деформацияланған күйін анықтау саласында авторлар орындаған ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері берілген. Зерттеулер SolidWorks «Simulation» бағдарламалық ортасында орындалған. Конвейер пластиналарының бекіту тораптары конструкциясының материалындағы механикалық кернеулердің берілген сыртқы күшке тәуелділігі алынды – материалдағы ағымдылық шегі – 620,4 МПа. Әзірленген әдістемеге зияткерлік меншік куәлігі алынды.*

*This article presents the results of research work carried out by the authors in the field of determining the stress-strain state of the fastening nodes of conveyor plates. The studies were performed in the SolidWorks «Simulation» software environment. The dependence of mechanical stresses in the material of the construction of the fastening nodes of the conveyor plates on the specified external force is obtained – with a yield strength of 620.4 MPa in the material. A certificate of intellectual property has been obtained for the developed methodology.*

FTAMP 656.025

### Т. К. Балгабеков<sup>1</sup>, Ә. О. Айдарбек<sup>2</sup>, А. С. Кошмаганбетова<sup>3</sup>, Г. Н. Байғужина<sup>4</sup>

<sup>1</sup>т.ғ.к., доцент, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>т.ғ.к., аға оқытушы, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>оқытушы, Қарағанды экономикалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>магистр, ассистент, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы

e-mail: <sup>1</sup>tdi\_kstu@mail.ru; <sup>4</sup>gul\_8989@mail.ru

### ДИЗЕЛЬДЕРДЕГІ ГАЗДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН ЖАҚСARTУ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУ ЖҰМЫСТАРЫ

*Іштен жану поршеньді қозғалтқышы (ПД) қазіргі уақытта техниканың әр түрлі салаларында, бірінші кезекте көлікте кеңінен қолданылатын жылу машиналарының негізгі түрлерінің бірі болып табылады. Бүгінгі таңда БҚ ішінара басқа күш қондырғыларымен қолдану облыстарынан ығыстырылғанына қарамастан, тіпті ең дәстүрлі схема қозғалтқыштарының де әлеуеті соңына дейін іске асырылмаған, ал жаңа инженерлік шешімдерді пайдаланатын жаңа құрылымдарды үздіксіз әзірлеу ШЖ әлі ұзақ уақыт бойы күштік қондырғылар арасында көшбасшы позицияға үміткер болатынын көрсетеді. Осылайша, поршеньді қозғалтқыштарды зерттеу және жетілдіру бүгінгі күні өзекті міндет болып табылады, оны шешу әлемдік экономика мен экологияға әсер етеді. Бұл ретте, КП жұмыс процестері өте күрделі, стационарлық емес сипатқа ие екенін атап өту маңызды. Бұл фактор қозғалтқыштарды зерттеуді, әзірлеуді және жетілдіруді айтарлықтай қиындатады.*

*Кілтті сөздер: автомобиль, іштен жану қозғалтқышы, автомобильдің жоғары қозғалысы, автомобиль көлігі, автомобильдің конструктивтік элементтері, автомобильдің техникалық жағдайы,*

*автомобильдің пайдалану жұмысы, автомобильдің пайдалы сыйымдылығы, автомобильдің жүк көтергіштігі.*

### КІРІСПЕ

Іштен жану поршеньді қозғалтқыштарының (ІЖП) дамуының 100-ден астам жылдық тарихы олардың конструкциясының үздіксіз жетілдірілуімен және көрсеткіштердің артуымен сипатталады. Бұл ретте соңғы 2...3 онжылдықта бұл дамуды жеделдету ретінде сипаттаған жөн, бұл қозғалтқышпен (электрондық басқару, механотроника, триботехника, химмотология, материалтану, өңдеу технологиясы және т.б.) байланысты түрлі салаларда жоғары технологиялардың жетістіктерін пайдаланумен байланысты. Ең маңызды үрдістердің бірі болып табылады [1], оның жетілдірілуі бүгінгі таңда ПД дамуын анықтайды, газ алмасу болып табылады. Газ тарату фазаларын оңтайландыру, газ-ауа жолдарын бейіндеу, үрлеу көрсеткіштерін таңдау, цилиндр мен т.б. заряд қозғалысын ұйымдастыру міндеттері қазіргі кез келген қозғалтқыш үшін қойылады және шешіледі, өйткені онсыз күш қондырғысының осындай пайдалану және экологиялық параметрлеріне қол жеткізу өте қиын. Егер бұрын осы міндеттерді шешу үшін сенімді, бірақ қымбат тұратын және ұзақ эксперименттік әдістер қолданылса, онда қазір олардың көп бөлігі сандық үлгілеуге жүктеледі, Сондықтан тиісті әдістемелерді әзірлеу, жетілдіру және сынақтан өткізу өзекті міндет болып табылады, оны шешу ғылым мен техниканың осы саласын дамыту үшін қажет.

### НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Поршеньді қозғалтқыштардағы газодинамикалық процестерді зерттеу. Отынның химиялық энергиясын жылу энергиясына, содан кейін механикалық жұмысқа түрлендірген кезде ішкі жану қозғалтқышының цилиндрлерінде өтетін процестердің жиынтығы цикл деп аталады [1, 2]. Цикл жаңа зарядты енгізу, сығу, қоспаның түзілуі, тұтану және жану, цилиндрден пайдаланылған газдарды шығару және кеңейту процестерінен тұрады. Сондай-ақ ауаны, отынды және мотор майын, отын беру, пайдаланылған газдарды бейтараптандыру, салқындату және басқалары іске қосу, сүзу процестері кем дегенде маңызды болып табылады. Цилиндрлердегі процестер газдар мен цилиндр ішіндегі кеңістіктің қабырғалары арасындағы белгіленбеген жылу алмасу жағдайларында орын алады. Кезекті цикл жұмыс денесінің жаңа порциясымен жасалады, оның құрамы, қасиеттері мен күйі әрбір процесте өзгереді. Жұмыс денесінің массасын жылжыту үйкеліспен, жергілікті гидравликалық кедергілермен және жылудың жоғалуына әкелетін басқа да құбылыстармен бірге жүреді. Осының салдарынан процестер

қайтымсыз және стационарлы емес, яғни уақыт пен кеңістікте ауыспалы болып табылады.

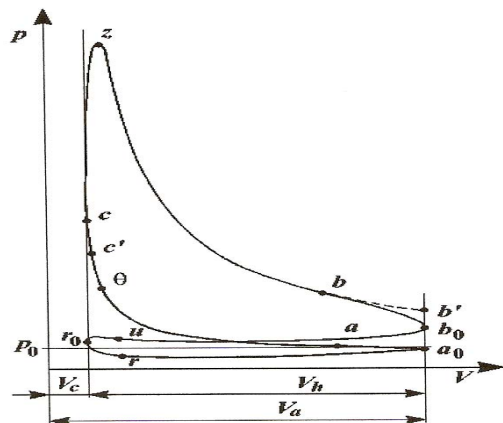
1-кестеде қалыпты жұмыс режимі және төмен температуралы іске қосу кезінде дизельдің жану камерасында қоспа түзілу шарттары келтірілген.

Кесте 1 – дизельдің жану камерасындағы қоспа жасау шарттары

Параметрлер атауы	Номинальді режим	Іске қосу режимі
Поршень жылдамдығы, м/с	5...10	0,4...1,0
Әуе зарядының жылдамдығы, м/с	75...200	5...16
Қысу соңында әуе зарядының температурасы, С	550...700	250...420
Сығу камерасы қабырғасының температурасы, С	200...300	– 30
Қысу соңында әуе зарядының қысымы, МПа	4...5	1,5...2,5
Отын тамшыларының орташа диаметрі, мкм	10...30	40...60

Тіпті қазіргі заманғы зерттеу аппаратурасының көмегімен де ДЖҚ-да өтетін процестер туралы толық түсінік алуға болмайды. Математикалық әдістердің көмегімен оларды сипаттау өте күрделі міндет болып табылады [3, 4]. ДЖҚ-дағы үдерістерді математикалық модельдеу олардың идеализация дәрежесін, яғни термодинамика, газдинамика және басқа да қолданбалы ғылымдардың заңдылықтары мен теңдеулерін пайдалануға мүмкіндік беретін бірқатар жорамалдарды қабылдауды болжайды. Осының салдарынан қозғалтқыштардағы процестерді зерттеудің есептік-эксперименталдық әдістері кеңінен қолданылды.

Циклді талдаудың ыңғайлылығы үшін P-V координаттарындағы схемасы суретте келтірілген индикаторлық диаграмма 1 сығылудан (дизельден) тұтанатын қозғалтқышқа қатысты такталар мен процестерге бөлінеді.



Сурет 1 – индикаторлық диаграмма схемасы

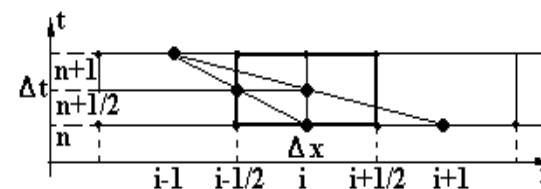
Цикл поршеньдің жоғарғы (ЖӨН) бастап төменгі өлі нүктеге (ТӨН) дейін төрт жүрісінде жүзеге асырылады [1, 3], олар  $r_0 - a_0$  енгізу,  $a_0 - c$  сығу,  $c - z - b_0$  кеңейту және  $b_0 - r_0$  шығару тактеріне сәйкес келеді.  $b - b'$  қисығы шығару клапанының ТӨН-ға дейін жабық кезде цилиндрдегі қысымға сәйкес келеді. Диаграммада тән нүктелер белгіленген:  $b, r$  – шығару клапанының ашылу және жабылу сәті;  $u, a$  – енгізу клапанының ашылу және жабылу сәті;  $\Theta$  – цилиндрге отын беру немесе бензинді қозғалтқышта ұшқын беру сәті;  $z$  – газдың ең жоғары қысымына қол жеткізу сәті. Төрт циклді қозғалтқыштың циклі мынадай процестерге бөлінеді:  $a - c'$  – сығылу;  $\Theta - c' - z$  – қоспа түзілу және жану;  $z - b$  – кеңейту;  $b - r$  – шығару;  $u - a$  – түсу. Қысу процесінде жұмыс денесінің қысымының өзгеруі қысу деңгейінің шамасына, цилиндр қабырғаларынан зарядты қыздыруға және қысу соңында қабырғаларға жылулықты бұруға, турбуленттік қозғалыс қарқындылығына және басқа да көптеген факторларға байланысты. Сонымен қатар, қозғалтқыш цилиндріне қысу процесінде сұйық отын шашырауы мүмкін және жылудың бір бөлігі оның булануына жұмсалады.

Жұмыс денесінің құрамы, физикалық қасиеттері және параметрлері өзгереді. Жұмыс денесі мен цилиндрлік кеңістік қабырғаларының арасында қарқынды жылу алмасу орын алады. Турбуленттіліктің, ағудың болуы және басқа факторлар өте аз уақыт аралығында (0,001...0,0001 с) осы процестердің ағу көрінісін айтарлықтай күрделендіреді.

Басында кеңейту процесі жылу өліп жатқан отыннан шыққан кезде пайда болады, содан кейін оның екінші жартысында оның бір бөлігі цилиндр қабырғаларына шығарылады. Кеңейту инсультінің соңында қысымның

қосымша төмендеуі жұмыс сұйықтығының шығуы басталады (шығатын газ). Шығару және қабылдау процестері одан да күрделі, өйткені олар қозғалтқыш цилиндрлерінде өзгермелі жұмыс сұйықтығымен жүреді.

Ірі бөлшектердің базалық әдісінің алгоритмі мен негізгі есептік арақатынасын сипаттау. Сандық модельдің нұсқаларының бірі ретінде NSF кешенінің құрамына кіреді. Базалық МКЧ көмегімен тұрақты есептеулерді жүргізу үшін (оның бірінші дәлдік тәртібі мен анық есептік схемасына байланысты) Куранттың тор санын бірліктердің жүздік үлесіне дейін азайту қажет. Бұл дәлдіктің төмендеуіне алып келеді және бұл өте маңызды, есептеу уақытын айтарлықтай арттырады. Сондықтан NSF кешенінің құрамында негізгі қолдану көлбеу секциялар туралы түсінік негізінде ірі бөлшектер (МКЧ) әдісі айқын емес модификация тапты (сурет 2) МКТУ «поршеньді қозғалтқыштар» кафедрасында әзірленген, уақыт бойынша дәлдіктің екінші тәртібін қамтамасыз етеді. Оның алгоритмі келесіге негізделеді. Есептік аймақты өңдеу ұяшықтар нөмірлерінің өсуі бойынша ретімен жүргізілетіндіктен, ұяшықты есептеу кезінде  $(i, j, k)$  N уақыт сәтіндегі барлық параметрлер ғана емес, сонымен қатар  $(i-1, j, k)$ ,  $(i, j-1, k)$  және  $(i, j, k-1)$  уақыт сәтіндегі ұяшықтардағы газ параметрлерінің аралық мәндері да  $(n+1)$  белгілі болып табылады. Олардың көмегімен қарастырылып отырған ұяшықтың шекарасында  $TN+1/2$  бөлшекті қадамдағы параметрлер мәнін көрсетуге болады  $(i-1/2, j, k)$ ,  $(i, j-1/2, k)$ ,  $(i, j, k-1/2)$ .



Сурет 2 – Көлбеу секциялар туралы түсінік

2-Суретте көрсетілгендей көлбеу кесінділерді өткізе отырып, уақыт бойынша бөлшек қадамда газ параметрлерін жазуға болады. Мысалы,  $i-1/2, j, k$  шекарасындағы жылдамдық пен қысым үшін [5, 7]:

$$u_{i-1/2, j, k}^{n+1/2} = \frac{\tilde{u}_{i-1, j, k}^{n+1} + u_{i, j, k}^n}{2}; \quad p_{i-1/2, j, k}^{n+1/2} = \frac{\tilde{p}_{i-1, j, k}^{n+1} + p_{i, j, k}^n}{2}.$$



Ұяшық ортасындағы қысымды мына формула бойынша анықтауға болады:

$$P_{i,j,k}^{n+1/2} = \frac{\tilde{p}_{i-1,j,k}^{n+1} + \tilde{p}_{i,j-1,k}^{n+1} + \tilde{p}_{i,j,k-1}^{n+1} + P_{i+1,j,k}^n + P_{i,j+1,k}^n + P_{i,j,k+1}^n}{6}$$

Бұл жағдайда эйлер кезеңінің айырымдық теңдеулері көрініс болады:

$$\tilde{u}_{i,j,k}^{n+1} = u_{i,j,k}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x \cdot \rho_{i,j,k}^n} \left( \frac{\tilde{p}_{i,j,k}^{n+1} + P_{i+1,j,k}^n}{2} - P_{i-1/2,j,k}^{n+1/2} - \Delta x \cdot f_x \right),$$

мұндағы  $f_x$  – диссипативті мүшесі, ал аралық қысым  $\tilde{p}_{i,j,k}^{n+1}$  қадамда  $n+1$  уақыт болып табылады табысының шамасы. Әрине, әртүрлі формада эйлерлік кезеңде энергия теңдеуін қалай жазуға болады

$$\tilde{p}_{i,j,k}^{n+1} = P_{i,j,k}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot (k-1) \cdot P_{i,j,k}^{n+1/2} \left[ \begin{array}{l} \frac{\tilde{u}_{i,j,k}^{n+1} + u_{i+1,j,k}^n}{2} - u_{i-1/2,j,k}^{n+1/2} + \\ \frac{\tilde{v}_{i,j,k}^{n+1} + v_{i,j+1,k}^n}{2} - v_{i,j-1/2,k}^{n+1/2} + \\ \frac{\tilde{w}_{i,j,k}^{n+1} + w_{i,j,k+1}^n}{2} - v_{i,j,k-1/2}^{n+1/2} \end{array} \right],$$

Аралық жылдамдықтар мен одан тиісті түрлендірулердің мәндерін қойғаннан кейін қандай да бір итерациясыз іздестірілетін аралық қысымды  $\tilde{p}_{i,j,k}^{n+1}$  анықтау үшін өрнек алуға болады:

$$P_{i,j,k}^{n+1} = \frac{P_{i,j,k}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot (k-1) \cdot P_{i,j,k}^{n+1/2} \cdot \left[ \begin{array}{l} u_{i,j,k}^n + u_{i+1,j,k}^n + v_{i,j,k}^n + v_{i,j+1,k}^n + w_{i,j,k}^n + w_{i,j,k+1}^n - \\ 0.5 \cdot \left( P_{i+1,j,k}^n + P_{i,j+1,k}^n + P_{i,j,k+1}^n \right) - P_{i-1/2,j,k}^{n+1/2} - \\ - \frac{\Delta t}{\Delta x \cdot \rho} \left( -P_{i,j-1/2,k}^{n+1/2} - P_{i,j,k-1/2}^{n+1/2} - \Delta x \cdot f_x - \Delta x \cdot f_y - \Delta x \cdot f_z \right) \end{array} \right]}{1 - 0.75(k-1)P_{i,j,k}^{n+1/2} \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2 / \rho_{i,j,k}^n}$$

Содан кейін аралық жылдамдық есептеледі және Эйлер кезеңі толық энергия есебімен аяқталады:

$$\tilde{E}_{i,j,k}^{n+1} = \frac{\tilde{p}_{i,j,k}^{n+1}}{(k-1)\rho_{i,j,k}^n} + \frac{\left( \tilde{u}_{i,j,k}^{n+1} \right)^2 + \left( \tilde{v}_{i,j,k}^{n+1} \right)^2 + \left( \tilde{w}_{i,j,k}^{n+1} \right)^2}{2}$$

Лагранжев және осы модельдің қорытынды кезеңдері базалық МКЧ-дан айырмашылығы жоқ. Есептеу қатынасында уақытша қабаттың N, сондай-ақ n+1 параметрлері пайдаланылатындықтан, бұл схема айқын емес болып табылады. Ол жоғары төзімділікке ие, бұл тауықтың тор санын 0.6 және одан да көп мәндерге дейін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл нәтижелердің дәлдігін арттырады және марштық шот уақытын айтарлықтай қысқартады.

Ағындарды модельдеу кезінде шекара қабатын жақсырақ көрсету және осы жұмыс аясында есептеулердің дәлдігін арттыру үшін біз есептеу аймағының қатты шекараларына жабысатын үлгіні енгіздік және сынақтан өткіздік, олар үшін форманың шекаралық шарттары сақталады [7, 8]:

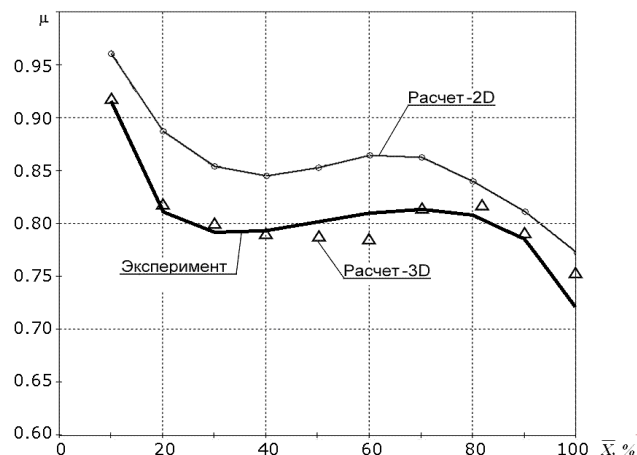
$$u_\Gamma = 0; \quad v_\Gamma = 0; \quad w_\Gamma = 0; \quad p_\Gamma = P_{i,j,k}.$$

Қозғалтқышта болып жатқан процестердің көпшілігін сандық моделдеу қозғалтқыштардың газ бөлуші поршеньдерінің, клапандарының және басқа да органдарының қозғалысына байланысты болатын есептік аймақ шекараларының орналасуын Өзгертуді есепке алуды талап етеді. А. А. Меднова және Н. В. Лобовтың жұмыстарында ұсынылған МКЧ қолдану үшін жарамды жылжымалы шекаралары бар облыстарды есептеудің бірнеше алгоритмдері белгілі. Алайда, олар белгілі бір нақтылауды және пысықтауды, бірінші кезекте, сақтаудың интегралды заңдары тұрғысынан талап етеді. Бұл жұмыста жылжымалы шекараларды есепке алу үшін жаңа тәсіл ұсынылады (физикалық процестер бойынша ыдырау тұжырымдамасын жалғастыру) ерікті алшақтықтың ыдырау қатынасына негізделген қосымша алдын ала кезең, бұл стационарлық емес процестердің физикасын жақсы көрсететін.

Егер бастапқы сәтте ұяшық бүтін болса, немесе  $qi = \Delta xi < \Delta x$ , мұндағы  $\Delta xi < \Delta x$ , егер есептік аймақтың шекарасы бүтін ұяшықтан кейбір көлем фрагменті кессе (сурет 2). Егер есептеу қадамында  $\Delta t$  шекарасы  $x$  бағыты бойынша  $u\Gamma$  жылдамдығымен  $u\Gamma \Delta t$  шамасына ауысса, онда ұяшықтың көлемі шамаға дейін өзгереді.

Газ тарату органдарының шығысы  $\mu$  коэффициенті константамен емес, бірақ өтпелі қиманың шамасына және қысымның өзгеруіне байланысты жеткілікті кең шектерде күрделі түрде өзгереді. Екі актілі қозғалтқыштардың

терезелерінде  $\mu$  өлшеу бойынша классикалық эксперименталдық зерттеулердің бірі В. Уоллес жұмысы болып табылады, олардың нәтижесімен тиісті есептеулерді салыстыру жүргізілді (сурет 3). Сандық эксперимент цилиндр диаметрі 207 мм және биіктігі 50 мм енгізу терезелері бар қозғалтқыш үшін жүргізілді (бұл Д100 сериялы тепловоздық дизельдің геометриялық параметрлеріне сәйкес келеді). Екі өлшемді (2D) және үш өлшемді (3D) қойылымдарда орнату әдісімен статикалық есеп шешілді.



Сурет 3 – Ағын коэффициентінің кіріс терезесінің ашылу дәрежесіне тәуелділігі

Графиктерден көрсетілгендей, сандық модельдеу нәтижелері эксперименталды деректермен жақсы үйлеседі. 3D-модельдеу терезелер арқылы өту процестерінің сандық және сапалы сипаттамасын береді. 2D-модельдеу, сандық алшақтыққа қарамастан, Үрлеу кезінде алынған қисық нысанын қанағаттанарлық көрсетеді, бұл ДВС терезелерінде ағыстарды салыстырмалы талдау үшін 2-өлшемді есептеулерді қолдануға мүмкіндік береді. Алынған тәуелділік  $\mu=f(\bar{X})$  екі активті ПД жұмыс процесінің квазистационарлық есептеулерін дұрыс жүргізу үшін қажет.

Есептеу көрсетті [7, 9] жаңа профиль арналарын қамтамасыз етеді күрт төмендеуі қысым цилиндрде, бұл айтарлықтай азайтады жұмыс сорғы жүріс қозғалтқыш. Сандық жағынан 12 цилиндрлік қозғалтқыш үшін ұтыс 39.1 кВт құрайды, бұл толық қуаттың 0.9 % сәйкес келеді.

Ескере отырып, үздіксіз цикловую беруді, туралы айтуға болады қысқарту отын шығынын 0.9 % төмендету есебінен жұмыс сорғы жүріс үшін осы қозғалтқыштың номиналды режимде шамамен 1.8 г/кВт·сағ.

Абсолюттік шамада бұл номиналды режимде бір сағат ішінде 8 кг отынды үнемдеуді білдіреді.

### ҚОРЫТЫНДЫ

Нәтижелер [5, 6, 7], сандық модельдеу арнаның Шығыс сипаттамаларын жақсы көрсетеді. Жабысуымен модельді пайдалану кезінде үрленетін ауаның шығыны бойынша келісу 0.5 % құрайды. Алайда, қатты қабырғалардың бойымен сығу ағымының қарапайым моделі де қанағаттанарлық нәтиже береді (1.6 % келісу). Бұл модельдің үлкен қарапайымдылығына және неғұрлым қатан есептік торда есептеулерді жүргізу мүмкіндігіне байланысты ол арналардың профильдерін жетілдіру және оңтайландыру үшін ұсынылуы мүмкін.

Есептеу көрсетті [8, 9], бұл қимада түйісу келте қақпағы бар, бірі-көтерілу ағынының орын алған елеулі әркелкілігі қысым биіктік бойынша (диапазонында 104820–108200 Па). Экспериментте алынған мән (106280 Па) осы диапазонның ортасында жатыр. Эксперименттік ауа шығыны – 0.820, есептік – 0.822 кг/с. Осыдан көріп отырғанымыздай есеп береді әбден қанағаттанарлық нәтижелері, сондықтан туралы қорытынды жасалды қолданылуын кешенді NSF есептеу үшін оңтайландыру шығын сипаттамаларын элементтерін ағынды бөлігін дизельдер.

Жылжымалы шекараларды есептеудің әзірленген аппараты поршеньдердің қозғалысын және газ алмасу органдарының геометриясының өзгеруін ескере отырып, стационарлық емес қоюда қозғалтқышта газ алмасу процестерін сандық үлгілеуді жүргізуге мүмкіндік береді. Осы әдістемені сынақтан өткізу және тестілеу үшін NSF бағдарламалық кешенінің көмегімен газ алмасудың түрлі схемалары бар екі активті қозғалтқыштарды Үрлеудің бірнеше есептік зерттеулері жүргізілді.

Қосактілі қозғалтқыштың үрлеу терезелерінің Шығыс коэффициентіне енгізу жолының бірқатар геометриялық параметрлерінің әсері зерттелді. Алынған заңдылықтар газ алмасу мен ДВС жұмыс процестерін нақтыланған үлгілеуге арналған.

Д 500 төрт цикліді дизельдің шығарушы арналарының геометриясының олардың өткізу қабілетіне әсері зерттелді. Базалық нұсқамен салыстырғанда шығарылымның ең жоғары шығынын 16.2 %-ға ұлғайтуды қамтамасыз ететін жаңа профиль нысаны ұсынылды.

Шығарылымның стационарлы емес есебі арқылы қозғалтқыштың шығарылған арналарының ұсынылған профиліне көшу кезінде сорғы жүрісінің қуатында ұтысты бағалау жүргізілді, ол 39.1 кВт құрайды. Шығарудағы кедергінің алынған азаюы отынның меншікті тиімді шығынын 1.8 г / кВт \* сағатқа қысқартатыны көрсетілген.

## ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Ішкі жану қозғалтқыштары : Оқулық. жоғары оқу орындары үшін / А. С. Хачиян, Қ. А. Морозов, В. Н. Луканин және басқалары; Ред. В. Н. Луканина. 2-ші басылым. – М. : Жоғары мектеп, 1985. – 311 б.

2 **Колчин, А. И., Демидов, В. П.** Автомобиль және трактор қозғалтқыштарын есептеу : Оқулық. Университеттерге арналған оқу құралы. – М. : Жоғары мектеп, 2002. – 496 б.

3 Массив. Ішкі жану қозғалтқыштары. 3 кітапта. Кітап 2. Динамика және дизайн; Орта мектеп. – М., 2019. – 400 б.

4 Джесси Рассел ішкі жану қозғалтқышы; VSD – М., 2019. – 437 б.

5 **Гришин, Ю. А., Зенкин, В. А., Кулешов, А. С.** Екі соққылы қозғалтқыштардың кіріс терезелерінің сипаттамаларын есептеу әдісі // Вестник МГТУ им. Н. Е. Бауман. Машина жасау. – 2007. – № 4. – Б. 72–82.

6 **Гришин, Ю. А., Зенкин, В. А., Кулешов, А. С.** Кеңістіктік модельдеуді қолдана отырып, екі соққылы қозғалтқыштың кіріс терезелерінің қабылдау коэффициентін анықтау // Қозғалтқыш-2007: Халықаралық конференцияның ғылыми еңбектерінің жинағы. – М., 2009. – 437–442 б.

7 **Гришин, Ю. А., Зенкин, В. А., Рогов, В. С.** Поршеньдік қозғалтқыш жолындағы газ алмасуды модельдеу // Газ динамикасы және аэроғарыштық технологиялардағы жылу мен масса алмасудың мәселелері : XVII мектеп жас ғалымдары мен мамандарының академик А. И. Леонтьев. 2 томдық. – М., 2009. – Т. 1. – Б. 312–315.

8 **Гришин, Ю. А., Зенкин, В. А., Рогов, В. С.** Поршеньдік қозғалтқыш жолындағы газ алмасуды модельдеу // Аэроғарыштық технологиялардағы газ динамикасы мен жылу және масса алмасу мәселелері : XVII мектеп жас ғалымдары мен мамандарының академик А. И. Леонтьев. – М., 2009. – Б. 163–164.

9 **Гришин, Ю. А., Зенкин, В. А., Рогов, В. С.** Екі сатылы қозғалтқыштардың газ алмасуын сандық модельдеу // Вестник МГТУ им. Н. Е. Бауман. Инжиниринг. – 2009. – № 2. – Б. 36–44.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*Т. К. Балгабеков<sup>1</sup>, Ә. О. Айдарбек<sup>2</sup>, А. С. Кошмаганбетова<sup>3</sup>, Г. Н. Байгужина<sup>4</sup>*

**Газодинамические процессы в дизелях и исследовательские работы по улучшению их характеристик**

<sup>1,2,4</sup>Технический факультет,

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>Карагандинский экономический университет,

г. Караганда, 100000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Т. К. Balgabekov<sup>1</sup>, A. O. Aidarbek<sup>2</sup>, A. S. Koshmaganbetova<sup>3</sup>, G. N. Baiguzhina<sup>4</sup>*

**Gas-dynamic processes in diesels and research works to improve their characteristics**

<sup>1,2,4</sup>Faculty of Technology,

S. Seifullina Kazakh Agro Technical University,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Karaganda University of Economics,

Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Поршневой двигатель (ПД) внутреннего сгорания в настоящий момент является одним из основных типов тепловых машин, находящихся широчайшее применение в различных отраслях техники, в первую очередь в транспорте. Несмотря на то, что сегодня ПД частично вытесняется из своих областей применения другими силовыми установками, потенциал даже двигателей самых традиционных схем остается не реализованным до конца, а непрекращающаяся разработка новых конструкций, использующих свежие инженерные решения, показывает, что ПД будет еще долгое время претендовать на лидирующие позиции среди силовых установок. Таким образом, исследование и совершенствование поршневых двигателей является на сегодняшний день актуальнейшей задачей, решение которой сказывается на мировой экономике и экологии. При этом важно отметить, что рабочие процессы ПД имеют чрезвычайно сложный, нестационарный характер. Данный фактор существенно усложняет исследование, разработку и доводку двигателей.*

*At present, the piston engine (PE) of internal combustion is one of the main types of heat engines that are widely used in various branches of technology, primarily in transport. Despite the fact that today the PE is partially superseded by other power plants from its fields of application, the potential of even the engines of the most traditional schemes remains unfulfilled, and the ongoing development of new designs using fresh engineering solutions shows that the PE will still claim leading positions among power plants for a long time. Thus, research and improvement of piston engines is an urgent task, today the solution of which affects the world economy and ecology. It is important to note that PE workflows are extremely complex, unsteady. This factor significantly complicates the research and development of engines.*

ГРНТИ 621.311.22:621.57

**А. И. Бартенев<sup>1</sup>, И. А. Султангузин<sup>2</sup>, Ю. В. Яворовский<sup>3</sup>,  
А. Ш. Алимгазин<sup>4</sup>, И. Д. Калякин<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>аспирант, Институт энергоэффективности и водородных технологии НИУ «МЭИ», г. Москва, 101000, Российская Федерация;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, Институт энергоэффективности и водородных технологии НИУ «МЭИ», г. Москва, 101000, Российская Федерация;

<sup>3</sup>к.т.н., зав. кафедрой, Институт энергоэффективности и водородных технологии НИУ «МЭИ», г. Москва, 101000, Российская Федерация;

<sup>4</sup>д.т.н., директор НИИ «Энергосбережение и энергоэффективные технологии», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>аспирант, Институт энергоэффективности и водородных технологии НИУ «МЭИ», г. Москва, 101000, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup>bartenev-aleksey@mail.ru; <sup>2</sup>sultanguzinIA@mpei.ru;

<sup>3</sup>yavorovskyyv@mpei.ru; <sup>4</sup>alimgazin\_altai@mail.ru; <sup>5</sup>albanec1@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ**

*В настоящей статье рассматривается схема повышения энергетической эффективности теплоэлектростанций (ТЭС) с применением абсорбционных трансформаторов теплоты (АТТ). Целью исследования является повышение энергетической и экологической эффективности использования природного газа в системах энергоснабжения с применением паротурбинных установок и абсорбционных трансформаторов теплоты.*

*Моделирование модернизации ТЭС и оценка рассеивания вредных выбросов проводились с использованием следующих программных средств: ISCManger, Therstoflex. Все расчеты выполнены для одного энергоблока ТЭС-21 г. Москвы. В последующем полученные данные по повышению энергетической эффективности и снижению вредных выбросов мультиплицированы на всю энергосистему г. Москвы, основным источником тепловой и электрической энергии которой являются ТЭС ПАО «Мосэнерго».*

*Также в работе дано описание применяемых программ, в первом приближении выполнена оценка энергетического и экологического эффектов от модернизации одного энергоблока, одной ТЭЦ и всей энергосистемы г. Москвы.*

*Ключевые слова: абсорбционный трансформатор теплоты, теплоэлектроцентраль, энергетическая и экологическая эффективность, центральный тепловой пункт, выбросы вредных веществ, программа Thermoflex, Industrial Source Complex.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных причин повышения затрат на выработку энергетических ресурсов, а также увеличения вредных выбросов является износ основного оборудования энергетического сектора. Важной задачей является разработка современных схем теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), позволяющих снизить потребление топлива и количество выбросов вредных веществ.

Применение абсорбционных трансформаторов теплоты (АТТ) на ТЭЦ распространено в Китае, который является первопроходцем в области данной технологии. Основные исследования такой модернизации на ТЭЦ также проводятся в Китае [1, 2, 3, 4, 5]. К сожалению, в этих статьях не приводятся конкретные значения величины энергетического эффекта от применения АТТ на ТЭЦ. Кроме этого, нет оценки экологического эффекта от снижения вредных выбросов ТЭЦ. В связи с этим, моделирование модернизации реальной ТЭЦ для получения достоверных данных об энергетическом и экологическом эффекте от такой модернизации является первостепенной задачей для энергоэффективного и экологичного развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта для исследования была выбрана ТЭЦ № 21 ПАО «Мосэнерго» как одна из крупнейших по установленной электрической мощности и самая крупная по установленной тепловой мощности ТЭЦ московского региона.

ТЭЦ № 21 является типичной теплоэлектроцентралью для г. Москвы, поскольку в состав ее оборудования входят энергоблоки с давлением 130 ат, более современные с давлением 240 ат, а также, введенный в эксплуатацию в 2008 году парогазовый энергоблок. ТЭЦ-21 расположена в Северном административном округе г. Москвы. Она снабжает тепловой энергией жителей Северного, Северо-Восточного и Центрального административных округов г. Москвы, а также г. Химки Московской области.

В процессе выполнения исследования были построены упрощенные модели энергоблока с давлением 240 ат. до и после модернизации с применением программного комплекса Thermoflex. Объектами моделирования программного комплекса Thermoflex могут быть газотурбинные установки (ГТУ), ГТУ с котлами-утилизаторами (КУ), парогазовые установки (ПГУ) с КУ, ТЭЦ, ПГУ с газификацией угля, установки обессоливания воды, паросиловые электростанции на твердом, жидком и газовом топливе, когенерационные системы, электростанции на биомассе, солнечные и атомные электростанции, электростанции мусоросжигательных заводов, циклы Калины, органические циклы Ренкина и др. [6].

На рисунке 1 представлена исходная упрощенная схема ТЭЦ. Питательная вода, поступающая в котёл, испаряется и в виде пара направляется в цилиндр высокого давления (ЦВД) паровой турбины. После срабатывания в ЦВД, часть пара поступает в цилиндр низкого давления (ЦНД). После ЦНД отработавший пар поступает в конденсатор, откуда после конденсации перекачивается обратно в котёл. Контур охлаждения конденсатора состоит из градирни и насоса. Часть пара после ЦВД направляется в паро-водяной теплообменник, где конденсируется, отдавая тепло, и подаётся обратно в контур, где смешивается с питательной водой и поступает в котёл. Вода из нагреваемого контура паро-водяного теплообменника перекачивается насосом в водо-водяной теплообменник, который устанавливается на центральном тепловом пункте (ЦТП), затем подаётся обратно в паро-водяной теплообменник. Контур потребителей теплоты состоит из водо-водяного теплообменника, насоса и непосредственно потребителя теплоты.

Модернизированная схема ТЭЦ, представленная на рисунке 2, дополнительно включает в себя два АТТ (на ТЭЦ и ЦТП соответственно). Основная схема работает без изменений.

Часть пара из отбора ЦВД направляется в качестве греющего источника в АТТ, установленный на ТЭЦ. В качестве охлаждающего теплоносителя АТТ выступает вода из контура охлаждения конденсатора, забираемая перед градирней. При этом, часть воды, забираемая перед градирней из контура охлаждения конденсатора поступает в АТТ на охлаждение.

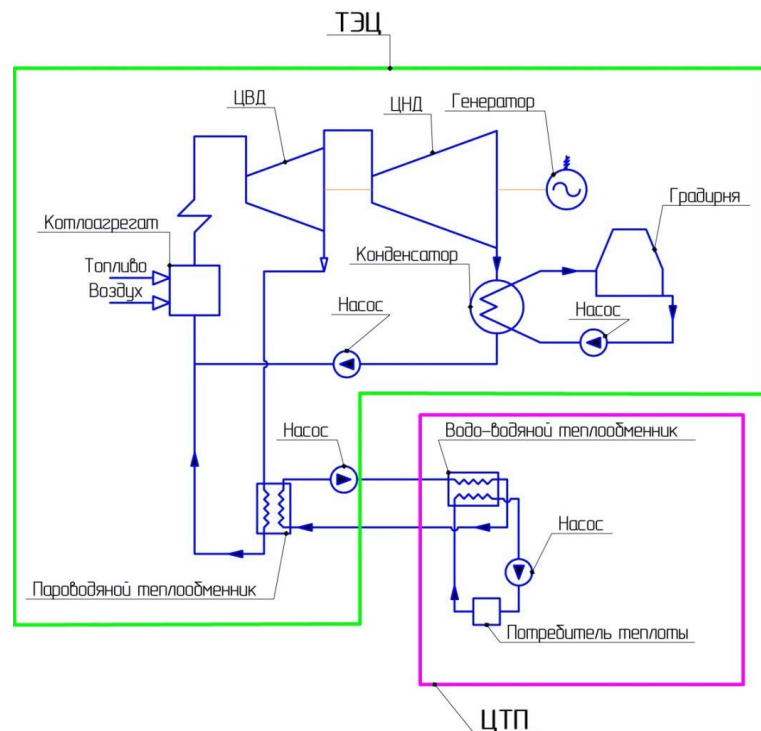


Рисунок 1 – Упрощенная схема ТЭЦ

После нагрева в АТТ охлаждающая вода направляется в паро-водяной теплообменник, где догревается и дальше перекачивается насосом в АТТ, установленный на ЦТП, где выступает в качестве греющего теплоносителя. Греющая вода с ТЭЦ, проходя через АТТ, отдаёт часть своей тепловой энергии и затем поступает в водо-водяной теплообменник, где также выступает в качестве греющего теплоносителя. После теплообменника вода с ТЭЦ направляется обратно в АТТ, но уже в качестве охлаждаемого теплоносителя. После АТТ охлаждённая вода направляется в контур охлаждения конденсатора ТЭЦ, смешиваясь при этом с частью воды, которая ранее поступала на охлаждение в АТТ.

Применение АТТ на ТЭЦ и ЦТП позволит утилизировать низкотемпературную бросовую теплоту конденсатора за счёт перевода температурного графика магистральных сетей с 120/70 °С на 120/20 °С, при этом температурный график потребителей изменяется с 95/70 °С на 60/40 °С. Утилизация бросовой теплоты конденсатора достигается подачей обратной сетевой воды из магистрали в

контур охлаждения конденсатора, после чего данная вода догревается в АТТ и пароводяном теплообменнике и подаётся обратно к потребителям теплоты.

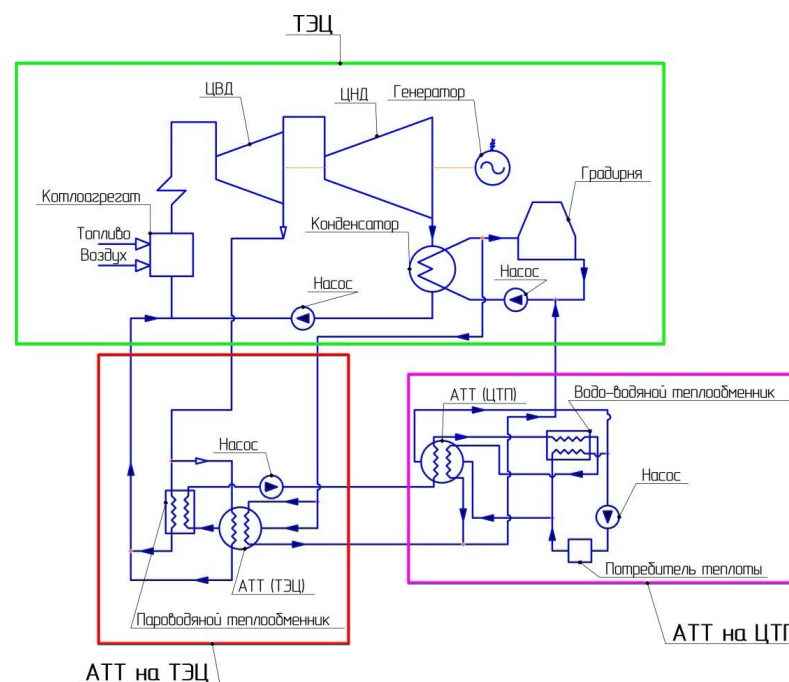


Рисунок 6 – Упрощенная схема ТЭЦ с АТТ

По результатам моделирования годовая экономия от использования АТТ на энергоблоке с давлением 240 ат ТЭЦ-21 составила порядка 7,1 % или 54,9 тыс.т у.т./год.

Годовое снижение выбросов CO<sub>2</sub> для очереди 240 ат. ТЭЦ-21 составило 88,3 тыс.т./год, или порядка 7,09 % от общего количества выбросов CO<sub>2</sub>. На основе полученных данных о снижении выбросов при модернизации ТЭЦ можно оценить уменьшение воздействия на здоровье населения.

Для оценки воздействия выбросов вредных веществ на население применяется методология Impact Pathways [7, 8]. В основе данной методологии лежит выполнение следующих этапов [9]:

- 1 Выбор источника (определение выбросов)
- 2 Расчет рассеивания вредных выбросов (увеличение концентрации)
- 3 Расчет воздействия (функция «доза-эффект»)
- 4 Экономическая оценка ущерба (стоимость).

Данная методология позволяет оценивать выбросы вредных веществ в атмосферу, загрязнение водоемов и почвы.

Для определения влияния вредных выбросов на окружающую среду использовалось программное обеспечение ISC Manager [7], которое для расчета рассеивания вызывает программу Industrial Source Complex (ISC). Программа ISC рекомендована для использования Американским Агентством по защите окружающей среды (EPA). В её основе лежит статистическая теория рассеивания вредных выбросов в атмосфере, основанная на предположении, что распределение концентрации примесей в диффундирующем облаке дыма определяется в соответствии с законом Гаусса. Для отображения результатов расчета в ISC Manager применяется геоинформационная система ГИС «Карта 2008».

В качестве функции «доза-эффект» используются результаты медицинских исследований, которые проводятся во многих странах мира отдельно по каждому загрязнителю и по каждому физическому воздействию. Для определения суммарного физического воздействия по региону в программе ISC Manager проводится расчет плотности населения и определяется влияние роста приземной концентрации вредных веществ на ухудшение здоровье населения в соответствии с функцией «доза-эффект» [7, 8].

При модернизации энергоблока 240 ат. вредные выбросы снижаются согласно данным, указанным в таблице 1

Таблица 1 – Снижение выбросов вредных веществ ТЭЦ-21 после модернизации энергоблока 240 ат, т/год

Загрязняющие вещества	Выбросы до модернизации, т./год	Выбросы после модернизации, т./год	Снижение выбросов, т/год
Твердые вещества	0,0	0,0	0,0
Диоксид серы	9,0	8,8	0,2
Оксиды азота (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	3 726,0	3 666,0	60,0
Оксид углерода	174,0	171,0	3,0
Всего	3 909,0	3 845,8	63,2

#### ВЫВОДЫ

Снижение потребления топливных ресурсов энергоблоком 240 ат. составило 7,1 % или 54,9 тыс. т у.т./год, что при цене на газ 4,7 руб./м<sup>3</sup>

позволит сэкономить порядка 224 млн. руб./год. При совместной модернизации энергоблоков 130 и 240 ат экономия составит порядка 180 тыс. т у.т./год, что эквивалентно 733 млн. руб./год.

Необходимо также обратить внимание на снижение ущерба от воздействия вредных выбросов ТЭЦ-21. При модернизации энергоблока 240 ат снижение ущерба составит 21 млн. руб./год., а при совместной модернизации энергоблоков 240 и 130 ат снижение ущерба будет составлять 69 млн. руб./год.

Мультиплицирование полученных в работе результатов показывает, что применение предложенной технологии принесет существенный энергетический и экологический эффект и позволит сократить потребление топлива на 2 809 тыс. т у.т. или, порядка, 2 442 млн м<sup>3</sup> природного газа, что при цене на газ 4 694 руб./тыс. м<sup>3</sup> даст экономии 11 463 млн. рублей в год

Предложенная модернизация позволит снизить потребление топливно-энергетических ресурсов на ТЭЦ, а также благоприятно скажется на экологической ситуации в г. Москве, что делает её перспективным способом модернизации существующих ТЭЦ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Jian S., Lin F., Shigang Zh.** Experimental study of heat exchanger basing on absorption cycle for CHP system // Applied Thermal Engineering, 2016. – Vol. 102. – P. 1280–1286.

2 **Tianle H., Xiaoyun X., Yi J.** Simulation research on a variable-lift absorption cycle and its application in waste heat recovery of combined heat and power system // Energy, 2017. – Vol. 140. – P. 912–921.

3 **Xiaoyun X., Yi J.** Absorption heat exchangers for long-distance heat transportation // Energy, 2017. – Vol. 141. – P. 2242–2250.

4 **Jian Sun, Lin Fu, Fangtian Sun, Shigang Zhang** Experimental study on a project with CHP system basing on absorption cycles // Applied Thermal Engineering. – Vol. 73. – Issue 1. – 5 December, 2014. – P. 732–738.

5 **H. S. Zhang, H. B. Zhao, Z.L. Li** Performance analysis of the coal-fired power plant with combined heat and power (CHP) based on absorption heat pumps // Journal of the Energy Institute. – Vol. 89. – 2016. – P. 70–80.

6 **Федюхин, А. В., Султангузин, И. А., Курзанов, С. Ю., Белов, Р. Б., Бакулин, А. В., Шомова, Т. П.** Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики : учебное пособие. – М. : Издательство МЭИ, 2016. – 88 с.

7 **Султангузин, И. А.** Экологическая безопасность и энергетическая эффективность промышленных теплоэнергетических систем : учебное пособие. – М. : Издательство МЭИ, 2013. – 288 с.

8 **Rabl, A., Spadaro, J., Holland, M.** How Much Is Clean Air Worth? Calculating the Benefits of Pollution Control. – Cambridge : Cambridge University Press, UK. 2014. – 671 p.

9 **Султангузин, И. А.** Применение методологии последовательности воздействия на окружающую среду вредных выбросов в промышленной теплоэнергетике: методическое пособие. – М. : Издательство МЭИ, 2013. – 48 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*A. I. Bartenev<sup>1</sup>, I. A. Sultanguzin<sup>2</sup>, Yu. V. Yavorovskiy<sup>3</sup>, A. Sh. Alimgazin<sup>4</sup>, I. D. Kalyakin<sup>5</sup>*

**Жылу трансформаторларын қызметті қолдану жылу электроцентралығы жұмысының энергия және экологиялық тиімділігін арттыру үшін**

<sup>1,2,3,5</sup>Энергия тиімділігі және сутегі институты технологиялары, «МРЕИ» зерттеу университеті, Мәскеу қ., 101000, Ресей Федерациясы;

<sup>4</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. I. Bartenev<sup>1</sup>, I. A. Sultanguzin<sup>2</sup>, Yu. V. Yavorovsky<sup>3</sup>, A. Sh. Alimgazin<sup>4</sup>, I. D. Kalyakin<sup>5</sup>*

**Application of absorption heat transformers to increase the energy and environmental efficiency of work of heat electrocentral**

<sup>1,2,3,5</sup>Institute of Energy Efficiency and Hydrogen Technologies Research University «MPEI», Moscow, 101000, Russia;

<sup>4</sup>Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Бұл мақалада жұтылу жылу трансформаторларын (АТТ) қолдана отырып, когенерациялық қондырғылардың (ЖЭО) энергия тиімділігін арттыру схемасы қарастырылады. Зерттеу мақсаты – бу турбиналық қондырғылар мен жылу сіңіргіш жылу трансформаторларын қолдана отырып, энергиямен жабдықтау жүйелерінде табиғи газды пайдаланудың энергиялық және экологиялық тиімділігін арттыру.*

*ЖЭО модернизациясы және зиянды шығарындылардың таралуын бағалау ISCManager, Thermoflex бағдарламалық қамтамасыз етудің көмегімен жүзеге асырылды. Барлық есептеулер Мәскеудегі ЖЭО-21 бір энергия блогы үшін жүргізілді. Кейіннен энергия тиімділігін арттыру және зиянды шығарындыларды азайту туралы алынған мәліметтер Мәскеудің жылу және электр энергиясының негізгі көзі болып табылатын Мәскеудің бүкіл энергетикалық жүйесі үшін көбейтіледі.*

*Сондай-ақ, жұмыс барысында бір энергия блогын, бір ЖЭО-ны және Мәскеудің бүкіл энергетикалық жүйесін модернизациялау кезіндегі энергия мен қоршаған ортаға әсерді бағалау, пайдаланылған бағдарламалар сипатталған.*

*This article discusses a scheme for increasing the energy efficiency of cogeneration plants (CHP) using absorption heat transformers (ATT). The aim of the study is to increase the energy and environmental efficiency of using natural gas in energy supply systems using steam turbine plants and absorption heat transformers.*

*Simulation of modernization of the CHP and assessment of dispersion of harmful emissions were carried out using the following software: ISCManager, Thermoflex. All calculations were performed for one power unit of TPP-21 in Moscow. Subsequently, the obtained data on improving energy efficiency and reducing harmful emissions are multiplied to the entire energy system of Moscow, the main source of heat and electric energy of which are Mosenergo TPPs.*

*The work also describes the programs used, as a first approximation, estimates the energy and environmental effects from the modernization of one power unit, one CHP and the entire energy system of Moscow.*



**А. Н. Бергузин<sup>1</sup>, С. К. Аскербек<sup>2</sup>, А. У. Толенова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD, асоц. профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>студент PhD, НИИЭТФ, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>студент PhD, НИИЭТФ, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, преподаватель Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>askhat\_berguzinov@mail.ru; <sup>2</sup>saulet@list.ru; <sup>3</sup>aktolkynntolen@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК TiN НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*В работе представлены результаты исследования влияния толщины тонких пленок TiN на прочностные и механические характеристики. Тонкие пленки были получены методом магнетронного напыления, в качестве мишени для напыления использовалась пластина титана, в качестве подложек использовался монокристаллический оксид кремния, напыление проводилось послойно в газовой среде Ar/N<sub>2</sub>. Толщина варьировалась количеством слоев напыления, где один слой равен 20 нм. Общая толщина исследуемых образцов составляла 300, 400, 500, 600, 700 нм. В ходе исследования установлены зависимости изменения коэффициента сухого трения, которые свидетельствуют о том, что увеличение количества слоев с 500 до 700 нм не приводит к каким-либо существенным изменениям, что означает о высокой степени устойчивости к механическому воздействию. Испытание на искусственное старение, показали, что наибольшей устойчивостью к деградации в результате воздействия водяных паров под давлением, обладают образцы, толщина которых не превышает 500-600 нм. Для образцов толщиной 700 нм, снижение устойчивости к временной деградации и уменьшение величины трещиностойкости обусловлено большим количеством дислокационных дефектов, связанных с малыми размерами зерен приповерхностного слоя.*

*Ключевые слова: нитрид титана, тонкие пленки, трещиностойкость, механическая прочность, эффект старения.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Проблема защиты от коррозии и деградации материалов используемых в качестве конструкционных материалов в ядерной энергетике, турбинах ракетных двигателей, ракетостроении является одной из наиболее актуальных на сегодняшний день [1–3]. Как правило, данные материалы подвергаются воздействию как высоких температур в случае эксплуатации их в качестве турбинных материалов или материалов первой стенки ядерных реакторов, так и внешним воздействиям, таким как трение, воздействие радиации или механических повреждений. Одним из способов повышения устойчивости к деградации в результате внешних воздействий, является использование нанесения тонкопленочных покрытий на основе оксидов или нитридов титана, алюминия, бора, никеля и т.д. Использование тонких пленок позволяет в несколько раз повысить устойчивость к коррозионным процессам, существенно снизить скорость деградации, а также коэффициент трения, тем самым увеличить КПД использования конструкционных материалов и расширить диапазон их применения [4–6].

Одним из наиболее перспективных материалов для указанных выше целей является нитрид титана, а также тонкие пленки нитрида титана [7, 8]. Сам по себе материал нитрид титана представляет собой перспективный материал обладающий низким удельным сопротивлением, высокими коэффициентами пропускания и отражения, хорошими показателями твердости и износостойкости, инертностью к большинству химических воздействий, а также хорошими показателями устойчивости к деградации и коррозии [9, 10].

Целью данной работы является изучение влияния толщины тонких пленок нитрида титана, полученных методом магнетронного напыления на механические и прочностные свойства, а также устойчивости к эффектам искусственного старения и деградации.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Тонкопленочные покрытия были получены с применением метода высокочастотного послойного магнетронного распыления титановой мишени на подложки монокристаллического оксида кремния в среде смеси газов Ar/N<sub>2</sub> при давлении газа 5x10<sup>-3</sup> мбар, и мощности разряда 240 Вт. Толщина 1 слоя напыленного за один проход составляла 20 нм. Общая толщина исследуемых образцов составляла 300, 400, 500, 600, 700 нм.

Определение микротвердости полученных тонких пленок в зависимости от толщины, а также измерения профиля твердости по глубине проводилось с применением метода наноиндентирования. В качестве индентора выступала пирамидка Берковича, для определения изменения микротвердости по толщине использовалась переменная нагрузка.

Определение коэффициента сухого трения проводилось путем механических испытаний исследуемых образцов подверженных трению. В качестве трущего тела использовался керамический шарик, диаметром 3 мм. Нагрузка составляла 500 Н, количество циклов испытаний составило 10000. Ограничение в количестве циклов обусловлено стандартной методикой испытаний.

Исследование эффекта искусственного старения проводилось путем моделирования процесса старения при нормальных условиях в результате внешних воздействий водяных паров под давлением. Метод искусственного старения является одним из способов значительно ускорить процесс деградации и старения. Применение данного метода позволяет моделировать воздействие равное процессам естественного старения за 2.5–3 г. за 1 час испытаний.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлена динамика изменения микротвердости по глубине в зависимости от толщины тонких пленок нитрида титана полученных методом магнетронного напыления.

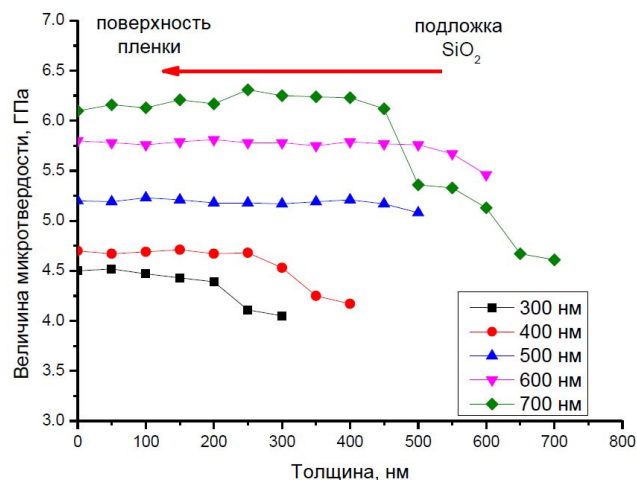


Рисунок 1 – График изменения величины микротвердости тонких пленок TiN

Увеличение толщины пленок приводит к увеличению среднего значения микротвердости с 4.5 ГПа для пленок толщиной 300 нм, до 5.7 ГПа и 6.1 ГПа для пленок толщиной 600 и 700 нм соответственно. При этом увеличение

толщины пленок до 400 нм приводит к незначительному увеличению значений микротвердости с 4.5 ГПа до 4.7 ГПа, что составляет не более 4.5 %, в то время как дальнейшее увеличение толщины приводит к увеличению микротвердости на 15.2 %, 28.8 % и 35.5 % для пленок толщиной 500 нм, 600 нм и 700 нм соответственно. Неоднородность величины микротвердости по глубине и ее снижение к слоям близким к подложке SiO<sub>2</sub> может быть обусловлена процессами формирования пленок при послойном напылении, а также неоднородности напыления первых слоев и процессов нуклеации зерен в случае, когда величина пленок не превышает 100 нм. Однако для пленок толщиной 700 нм, наблюдается аномальное снижение твердости на глубине более 500 нм, что может быть вызвано частичным расслоением пленок при больших толщинах, а также наличием неоднородностей при напылении пленок.

На рисунке 2 представлены данные изменения величины коэффициента сухого трения в зависимости от количества циклов испытаний.

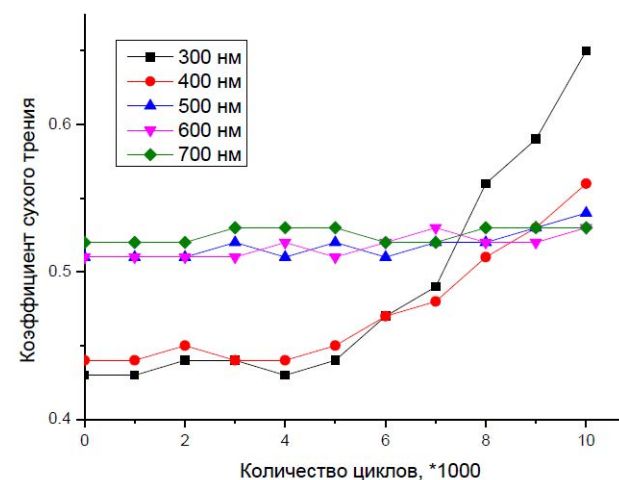


Рисунок 2 – Динамика изменения величины коэффициента сухого трения

Для пленок толщиной 300 нм и 400 нм в исходном состоянии величина коэффициента сухого трения составляет не более 0.41–0.42, в то время как для образцов пленок толщиной 500–700 нм, величина коэффициента сухого трения варьируется от 0.51 до 0.53. Увеличение коэффициента сухого трения с увеличением толщины покрытий выше 500 нм, обусловлено формированием мелкозернистой структуры поверхности, создающей дополнительные препятствия для трения. Однако наличие мелких зерен приводит не только

к увеличению прочности и твердости тонких пленок, но и повышению устойчивости к трению в результате длительных испытаний, о чем свидетельствует сохранение постоянного значения величины коэффициента трения для пленок толщиной 500–700 нм. Для пленок толщиной 300 нм и 400 нм, после 6000 циклов испытаний наблюдается резкое увеличение коэффициента сухого трения за счет деформации и частичного охрупчивания поверхностного слоя.

Оценка трещиностойкости тонких пленок TiN в результате моделирования эффекта старения представлена на рисунке 3.

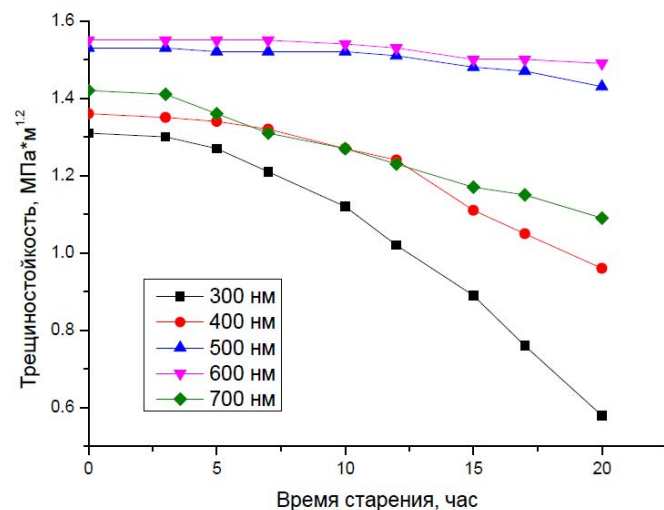


Рисунок 3 – Данные изменения трещиностойкости тонких пленок TiN

Изменение величины трещиностойкости отражает устойчивость тонких пленок TiN к старению в результате внешних воздействий. Как видно из представленных данных, наименьшей устойчивостью к старению обладают тонкие пленки толщиной 300 нм, для которых снижение величины трещиностойкости после 30 часов испытаний составило 56 %, что свидетельствует о малой устойчивости данных пленок к деградации и сопровождается образованием большого количества микротрещин на поверхности. Наибольшей устойчивостью к старению обладают пленки толщиной 500 нм и 600 нм, для которых снижение величины трещиностойкости не превышает 5–7 %. Для пленок толщиной 700 нм величина трещиностойкости после цикла испытаний снизилась на 24 %, что вызвано наличием большой концентрации дислокационных дефектов в

приповерхностном слое, которые вызывают дополнительные искажения и деформации приповерхностного слоя.

## ВЫВОДЫ

В работе рассмотрено влияние толщины нитридных покрытий титана на механические и прочностные свойства. Исходные образцы были получены с применением метода послойного магнетронного напыления, толщина пленок варьировалась от 300 до 700 нм. Определены величины коэффициента сухого трения и микротвердости по глубине в зависимости от толщины покрытий. Установлены зависимости изменения величины трещиностойкости от времени старения. В ходе исследования определено, что наибольшей устойчивостью деградации в результате механических и коррозионных испытаний на старения обладают тонкие пленки толщиной 500–600 нм, что в дальнейшем можно будет использовать для практического применения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **El-Fattah A. et al.** Optical Properties and Microstructure of TiN<sub>x</sub>O<sub>y</sub> and TiN Thin Films before and after Annealing at Different Conditions // *Coatings*. – 2019. – Vol. 9. – № 1. – P. 22.
- 2 **Socol M. et al.** Pulsed Laser Deposition of Indium Tin Oxide Thin Films on Nanopatterned Glass Substrates // *Coatings*. – 2019. – Vol. 9. – № 1. – P. 19.
- 3 **Mareus R. et al.** Study of columnar growth, texture development and wettability of reactively sputter-deposited TiN, ZrN and HfN thin films at glancing angle incidence // *Surface and Coatings Technology*. – 2020. – P. 126130.
- 4 **Zhang C. et al.** Effect of high energy shot peening on the wear resistance of TiN films on a TA2 surface // *Surface and Coatings Technology*. – 2019. – Vol. 378. – P. 124821.
- 5 **Sun N. et al.** Superior-performance TiN films sputtered for capacitor electrodes // *Journal of Materials Science*. – 2019. – Vol. 54. – № 14. – P. 10346–10354.
- 6 **Buchinger J. et al.** Toughness enhancement in TiN/WN superlattice thin films // *Acta Materialia*. – 2019. – Vol. 172. – P. 18–29.
- 7 **Gupta S. et al.** Room-temperature ferromagnetism in epitaxial titanium nitride thin films // *Acta Materialia*. – 2019. – Vol. 166. – P. 221–230.
- 8 **Roy M. et al.** Quantum interference effects in titanium nitride films at low temperatures // *Thin Solid Films*. – 2019. – Vol. 681. – P. 1–5.
- 9 **Su J. et al.** Chemical vapor deposition of titanium nitride thin films: kinetics and experiments // *CrystEngComm*. – 2019. – Vol. 21. – № 26. – P. 3974–3981.

10 **Perzynski K. et al.** Numerical modelling of a compression test based on the 3D digital material representation of pulsed laser deposited TiN thin films // Thin Solid Films. – 2019. – Vol. 673. – P. 34–43.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*A. N. Berguzinov<sup>1</sup>, S. K. Askerbekov<sup>2</sup>, A. U. Tolonova<sup>3</sup>*

**TiN жұқа пленкаларының қалыңдығының механикалық сипаттамаларға әсерін зерттеу**

<sup>1</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы;  
<sup>2,3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,  
Satbayev University,  
Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. N. Berguzinov<sup>1</sup>, S. K. Askerbekov<sup>2</sup>, A. U. Tolonova<sup>3</sup>*

**Investigation of the effect of thin TiN films thickness on the mechanical characteristics**

<sup>1</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan;  
<sup>2,3</sup>al-Farabi Kazakh National University,  
Satbayev University,  
Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Жұмыста TiN жұқа пленкаларының қалыңдығының беріктілік және механикалық сипаттамаларға әсерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жұқа пленкалар магнетронды тозаңдату әдісімен алынды, тозаңдату үшін нысаналар ретінде титан пластинасы пайдаланылды, төсеніш ретінде кремнийдің монокристалды оксиді пайдаланылды, тозаңдату Ar/N<sub>2</sub> газы ортасында қабатпен жүргізілді. Қалыңдығы бүрку қабаттарының санына байланысты өзгерді, мұнда бір қабат 20 нм. Зерттелген үлгілердің жалпы қалыңдығы 300, 400, 500, 600, 700 нм болды. Зерттеу барысында құрғақ үйкеліс коэффициентіндегі өзгерістердің тәуелділігі анықталды, бұл қабаттар санының 500-ден 700 нм-ге дейін артуы айтарлықтай өзгерістерге әкелмейді, бұл механикалық кернеуге жоғары дәрежеде қарсылық білдіреді. Жасанды қартаю сынақтары қалыңдығы 500–600 нм-ден аспайтын сынамаалар қысымның*

*астында су буының әсерінен деградацияға жоғары қарсылық көрсететіндігін көрсетті. Қалыңдығы 700 нм болатын үлгілер үшін уақытша деградацияға қарсы тұрақтылықтың төмендеуі және жарықшақтарға төзімділіктің төмендеуі беттік қабаттың ұсақ дәндерінің мөлшерімен байланысты көптеген дислокация ақауларына байланысты.*

*The paper presents the results of a study of the effect of thin TiN films thickness on strength and mechanical characteristics. Thin films were obtained by magnetron sputtering, a titanium plate was used as a target for sputtering, single-crystal silicon oxide was used as substrates, sputtering was carried out layer by layer in a gaseous Ar/N<sub>2</sub> atmosphere. The thickness varied by the number of spray layers, where one layer is 20 nm. The total thickness of the studied samples was 300, 400, 500, 600, 700 nm. During the study, the dependences of changes in the dry friction coefficient were established, which indicate that an increase in the number of layers from 500 to 700 nm does not lead to any significant changes, which means a high degree of resistance to mechanical stress. Artificial aging tests showed that the samples with the thickness not exceeding 500–600 nm have the greatest resistance to degradation as a result of exposure to water vapor under pressure. For samples with a thickness of 700 nm, a decrease in resistance to temporary degradation and a decrease in crack resistance is due to a large number of dislocation defects associated with small grain sizes of the surface layer.*

**И. В. Брейдо<sup>1</sup>, Ю. Ф. Булатбаева<sup>2</sup>, Г. Д. Оразгалеева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>PhD, и.о. доцента, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>магистр, докторант, Факультет энергетики, автоматике и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>jbreydo@mail.ru; <sup>2</sup>julia\_my\_angel@mail.ru; <sup>3</sup>gulnara388@gmail.com

## **АНАЛИЗ СУТОЧНОГО ПРОФИЛЯ НАГРУЗОК МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ**

*В статье проведен анализ профиля нагрузок металлургического предприятия для определения оптимального перечня исходных данных для прогнозирования энергопотребления с помощью искусственной нейронной сети. Перечень исходных данных определяется путем выявления зависимости профиля нагрузки металлургического производства от внешних факторов.*

*Описаны факторы, влияющие на спрос энергопотребления металлургического производства. Приведены годовые, недельные и суточные профили нагрузок металлургического предприятия с описанием основных трендов и закономерностей. Подробно проанализирован недельный профиль нагрузки металлургического предприятия, выявлены основные характеристики профиля по дням недели, такие как пик нагрузки, провал, среднесуточное значение нагрузки, размах ряда.*

*По результатам анализа профилей нагрузок определен оптимальный выбор переменных, которые могут быть выбраны в качестве исходных данных прогнозирующей модели.*

*Ключевые слова: прогнозирование энергопотребления, профиль нагрузки, краткосрочное прогнозирование, многофакторная модель, планирование энергохозяйства, металлургическое производство.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из актуальных направлений электроэнергетики является прогнозирование спроса на энергопотребление. В связи с планируемым введением в Республике Казахстан балансирующего рынка электроэнергии, который подразумевает ежечасный мониторинг выработки и потребления нагрузки всех потребителей со стороны Системного оператора, особенно значимым следует признать именно краткосрочное прогнозирование энергопотребления.

В мировой практике краткосрочное прогнозирование подразумевает анализ данных за короткие промежутки времени: поминутно или почасово. В нашем случае, ожидается почасовая техническая диспетчеризация, то есть достаточный интервал дискретизации равен одному часу.

Прогнозирование энергопотребления нельзя назвать легкой задачей, в условиях рынка она требует высокой точности. Чтобы построить модель с небольшой погрешностью, необходимо учитывать все факторы, влияющие на конечный результат, но при этом их количество не должно усложнять архитектуру нейронной сети, замедлять вычислительный процесс.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

По количеству учитываемых факторов, прогнозирующую модель можно условно разделить на однофакторную и многофакторную. Однофакторная прогнозирующая модель учитывает самое главное – само потребление (кВт·ч) или нагрузку (МВт) за предыдущие промежутки времени. Для работы на рынке электроэнергии принято учитывать почасовое потребление, которое называют профилем нагрузки. В качестве исходных данных однофакторной модели будут выступать данные потребления за прошедшие сутки.

Многофакторная модель учитывает различные причины, влияющие на спрос энергопотребления. В качестве исходных данных могут выступать:

- 1) профиль нагрузки за предыдущие сутки;
- 2) температура воздуха;
- 3) относительная влажность воздуха;
- 4) другие данные о погоде (скорость и направление ветра, атмосферное давление, геомагнитная активность, облачность в баллах и др.);
- 5) параметры электрической нагрузки;
- 6) нагрузка за аналогичный час предыдущего дня;
- 7) нагрузка за аналогичный час предыдущей недели;
- 8) учет дня недели (рабочие или выходные дни);
- 9) учет праздничных дней;
- 10) учет конкретного дня месяца;
- 11) учет сезона (наличие отопления, продолжительность светового дня);
- 12) планово-предупредительные ремонты.

Таким образом, энергопотребление зависит от ряда факторов, которые условно разделим на две категории по виду происхождения: социально-экономические и метеорологические. На рисунке 1 приведена сводная таблица с примерами.

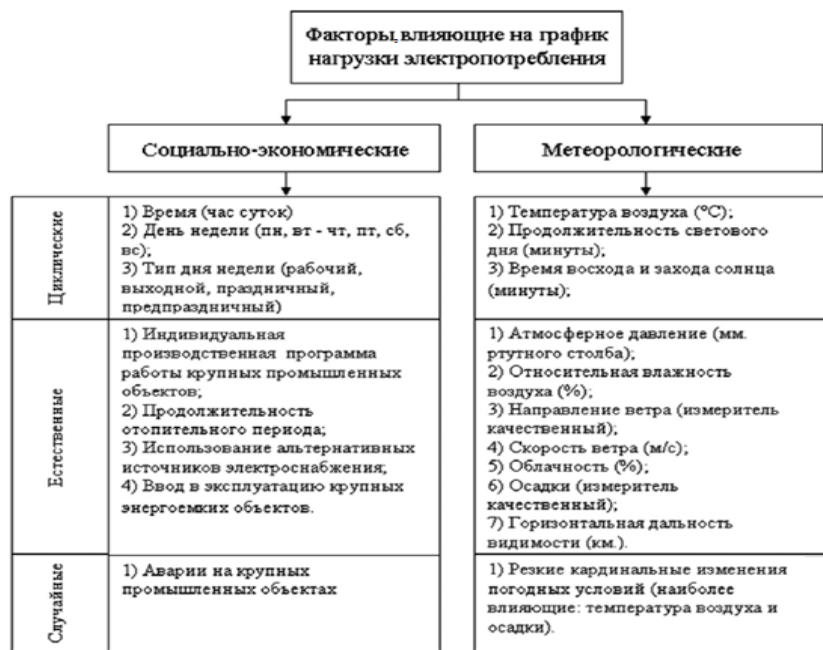


Рисунок 1 – Классификация факторов, влияющих на профиль графика нагрузки

Необходимо учитывать особенности влияния метеорологических факторов на суммарную электрическую нагрузку (СЭН) энергосистемы в каждом сезоне. В частности, при моделировании влияния среднесуточной температуры на электрическую нагрузку энергосистемы в летнем сезоне следует учесть ряд особенностей:

- изменение температуры окружающей среды с положительным коэффициентом корреляции влияет на изменение СЭН энергосистемы;
- при значении среднесуточной температуры выше 28 °C ее дальнейшее увеличение не приводит к росту СЭН энергосистемы. Это объясняется тем фактом, что при указанных температурах население уже задействовало все имеющиеся приборы охлаждения;

– при летних температурах в интервале 14–18 °C изменения нагрузки не наблюдается, поскольку указанная температура комфортна для большинства населения.

Суточный график промышленной нагрузки строят отдельно от коммунально-бытовой. Он мало различается по временам года – летом наблюдается лишь небольшое снижение нагрузки, связанное с ремонтом оборудования. В течение суток изменение промышленной нагрузки тоже менее значительно. Годовой профиль нагрузки изображен на рисунке 2.

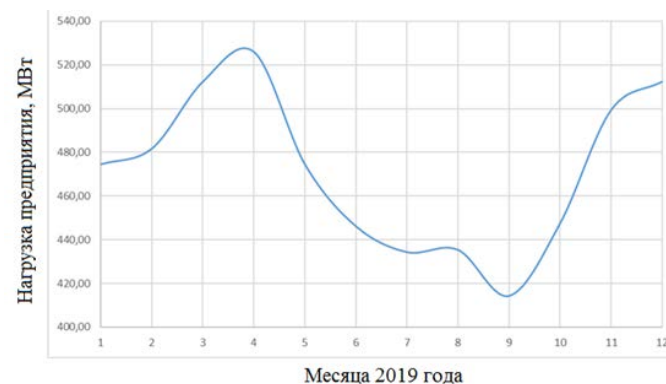


Рисунок 2 – График среднемесячной нагрузки металлургического предприятия по месяцам по данным 2019 года (МВт)

Условия работы энергетической системы и входящих в ее состав электростанций определяются режимом электро- и теплотребления обслуживаемого ими района. Они характеризуются соответствующими графиками нагрузок – суточными, недельными, годовыми. Основной график нагрузки – суточный. Электропотребление в течение суток резко меняется в относительно короткие промежутки времени, измеряемые часами и даже минутами, поэтому покрытие этого графика – наиболее сложная задача. Несколько проще покрытие недельной неравномерности, где основная трудность связана с неизбежным массовым остановом агрегатов в субботние и воскресные дни. Наименее сложна задача покрытия годовой неравномерности электро- и теплотребления.

На рисунке 3 изображены месячные профили нагрузок за 2019 год по дням. Анализируя формы графиков, можно сделать вывод, что день месяца не имеет существенного значения при прогнозировании энергопотребления. Например, в январе 2019 года пик нагрузки приходился на 27 января, однако при этом на 27 декабря пришелся провал мощности.

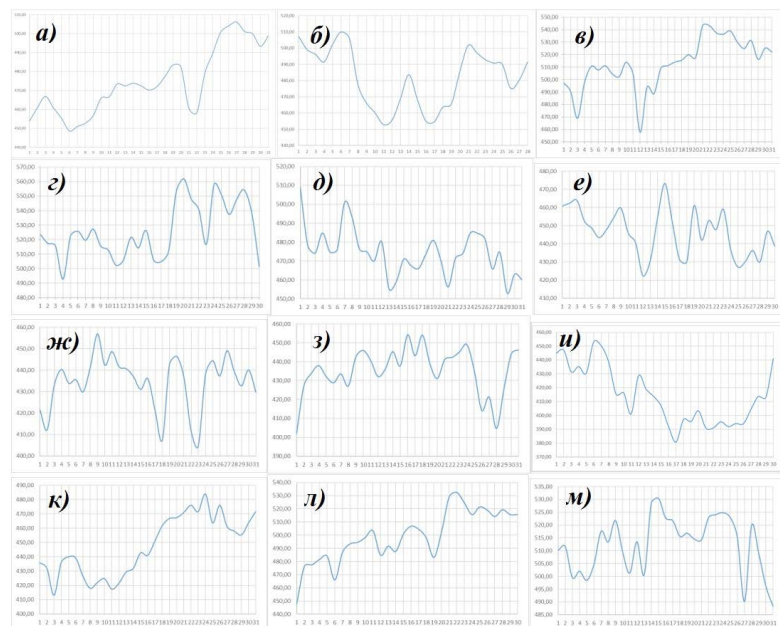


Рисунок 3 – Месячные профили нагрузок за 2019 год: а – январь; б – февраль; в – март; г – апрель; д – май; е – июнь; ж – июль; з – август; и – сентябрь; к – октябрь; л – ноябрь; м – декабрь

Суточный график отчетливо подразделяется на постоянную и переменную части: первая отвечает минимальной нагрузке; вторая представляет собой всю площадь графика, расположенную выше минимальной нагрузки. Чем меньше переменная часть, тем больше плотность графика  $\rho$ . Это понятие, иногда заменяемое термином «коэффициент заполнения графика», характеризует отношение средней планиметрической нагрузки к максимальному ее значению для данного графика. Различают суточную  $\rho_{сут}$  и недельную  $\rho_{нед}$  плотности графика.

В качестве данных для исследования были взяты расходы по энергопотреблению металлургического предприятия в период с 12 по 19 января 2020 года, которые отражены в профилях нагрузки на рисунке 4.

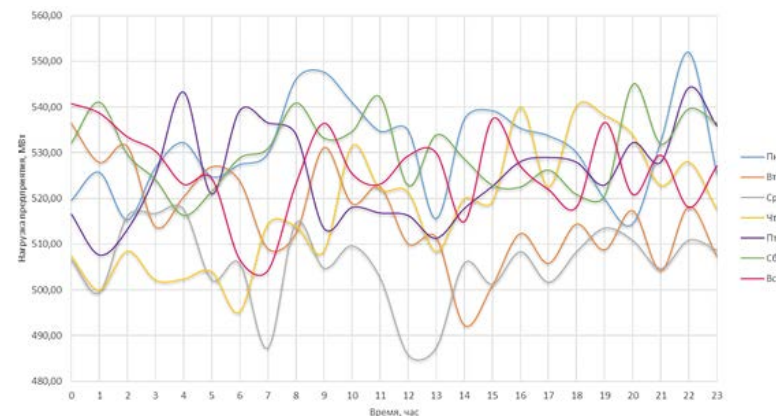


Рисунок 4 – Средние профили нагрузок металлургического производства по дням недели в период с 12 по 19 января 2020 г.

Основные выводы по построенным профилям нагрузки металлургического предприятия сведены в таблицу 1. Внутри суток можно произвести условное деление на утро (6.00–12.00), день (12.00–18.00), вечер (18.00–24.00), ночь (00–6.00).

Чаще всего пики мощности приходятся на первую половину дня, а именно на вторую половину утра и первую половину дня (с 9.00 ч до 15.00 ч). В основном, провалы наблюдаются ночью или ранним утром (с 00.00 ч до 07.00 ч).

Таблица 1 – Характеристики профиля нагрузок металлургического производства по дням недели 12–19 января 2020 г.

День недели	Максимальная нагрузка		Минимальная нагрузка		Размах ряда	Средняя нагрузка
	Час	МВт	Час	МВт		
Пн	21.00–22.00 (вечер)	552	01.00–02.00 (ночь)	489	53	515
Вт	14.00–15.00 (день)	542	00.00–01.00 (ночь)	486	56	507
Ср	12.00–13.00 (день)	546	03.00–04.00 (ночь)	489	57	517
Чт	18.00–19.00 (вечер)	550	05.00–06.00 (утро)	515	35	530
Пт	04.00–05.00 (утро)	550	01.00–02.00 (ночь)	510	40	527
Сб	20.00–21.00 (вечер)	538	03.00–04.00 (ночь)	513	25	525
Вс	00.00–01.00 (ночь)	538	06.00–07.00 (утро)	507	31	520

Для частоты эксперимента были взяты расходы по энергопотреблению с 19 по 26 января 2020 года (рисунок 5).

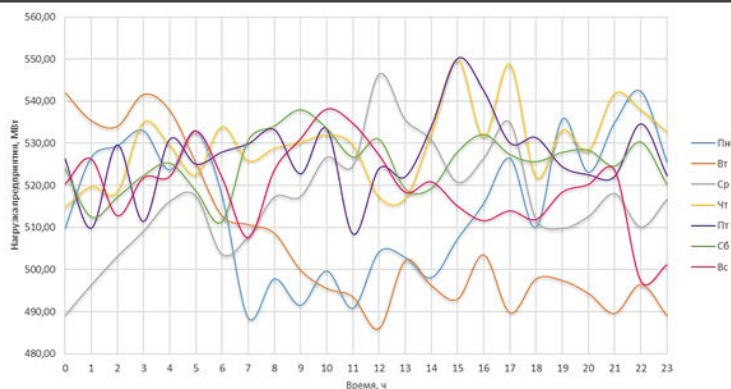


Рисунок 5 – Средние профили нагрузок металлургического производства по дням недели в период с 19 по 26 января 2020 г.

Данные профиля нагрузок можно свести в сводную таблицу 2 по характеристикам профиля.

Произведя анализ профиля нагрузок с учетом времени суток, можно сделать следующие выводы:

- чаще всего пики мощности приходятся на первую половину дня, а именно на вторую половину утра и первую половину дня (с 9.00 ч до 15.00 ч);
- в основном, провалы наблюдаются ночью или ранним утром (с 00.00 ч до 07.00 ч).

Таблица 2 – Характеристики профиля нагрузок металлургического производства по дням недели 19–26 января 2020 г.

День недели	Максимальная нагрузка		Минимальная нагрузка		Размах ряда	Средняя нагрузка
	Час	МВт	Час	МВт		
Пн	21.00–22.00 (вечер)	542	07.00–08.00 (утро)	489	53	515
Вт	00.00–01.00 (ночь)	542	11.00–12.00 (утро)	486	56	507
Ср	12.00–13.00 (день)	546	00.00–01.00 (ночь)	489	57	517
Чт	15.00–16.00 (день)	550	00.00–01.00 (ночь)	515	35	530
Пт	15.00–16.00 (день)	550	00.00–01.00 (ночь)	510	40	527
Сб	09.00–10.00 (утро)	538	01.00–02.00 (ночь)	513	25	525
Вс	10.00–11.00 (утро)	538	06.00–07.00 (утро)	507	31	520

### ВЫВОДЫ

По данным годового графика среднемесячной нагрузки видно, что максимальная средняя нагрузка наблюдается в апреле – 525,80 МВт,

а минимальная нагрузка достигает значения 414,29 МВт в сентябре. Среднегодовая нагрузка равна 471,50 МВт. Таким образом, получается, что полгода предприятие работает при нагрузке ниже средней – с июня по октябрь включительно. Нагрузка выше средней наблюдается с ноября по май.

Наименьшие величины коммунально-бытовой нагрузки характерны для периода от 23 до 4 ч (около 30 % от максимума). В пределах суток кроме вечернего максимума (в 18 ч) имеется еще один – утренний (в 8 ч), однако существенно меньший. Коммунально-бытовая нагрузка зависит и от времени года. Летом отличие утреннего пика нагрузки от вечернего меньше, чем зимой, а время, характерное для вечернего максимума, смещается на более позднее.

График были построены для 40-часовой рабочей недели в условиях восьмичасового рабочего и двух выходных дней. При этом характерно резкое изменение нагрузки в субботние (до 40 %) и особенно в воскресные дни (до 20 %). Характерно также некоторое снижение промышленной нагрузки в 12 и 16 ч, связанное с обеденными перерывами для первой и второй смен работы.

В качестве обучающей выборки нейронной сети для создания прогнозирующей модели следует рассматривать нагрузку за двое предыдущих суток, температуру, скорость ветра, облачность, нагрузки за подобные часы подобного дня предыдущей недели, для понедельника – предыдущей пятницы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Соловьева, И. А., Дзюба, А. П. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды // Журнал «Научный диалог». – 2013. – № 7(19) – С. 97–113.

2 Бердин, А. С., Кузин, П. А. Суворов, А. А. Особенности формирования моделей для прогнозирования электропотребления // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : Труды Всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ. – 2007. – С. 8–13.

3 Кузин, П. А., Суворов, А. А. Исследование поведения моделей, используемых для прогнозирования энергопотребления // XIII международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Современные техника и технологии. – 2007. – Том 1. – С. 57–59.

4 Бердин, А. С., Крючков, П. А., Суворов, А. А., Шубин, Н. Г., Демидова, С. И., Ермакова, О. Д. Прогноз потребления электрической энергии в составе комплекса информационного обеспечения балансирующего рынка // Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и энергии: Материалы



III Всероссийского специализированного научно-практического семинара. – М. : ЭНАС. – 2005. – С. 1–7.

5 **Ding, N., Benoit, C., Foggia, G., Besanger, Y., Wurtz, F.** Neural network-based model design for short-term load forecast in distribution systems // IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – P. 72–81.

6 **Arora, S., Taylor, J.W.** Short-term forecasting of anomalous load using rule-based triple seasonal methods // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – P. 35–42.

7 **Guan, C., Luh, P. B., Michel, L. D., Wang, Y., Friedland, P. B.** Very short-term load forecasting: Wavelet neural networks with data pre-filtering // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – P. 30–41.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*И. В. Брейдо<sup>1</sup>, Ю. Ф. Булатбаева<sup>2</sup>, Г. Д. Оразгалеева<sup>3</sup>*

**Болжау моделінің бастапқы деректерін анықтау үшін күнделік металлургиялық өндірістердің профилінің талдауы**

<sup>1,2,3</sup>Энергетика, автоматика және теле байланыс факультеті,  
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,  
Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*J. V. Breido<sup>1</sup>, J. F. Bulatbayeva<sup>2</sup>, G. D. Orazgaleyeva<sup>3</sup>*

**Daily load profile analysis of metallurgical production for determining the forecasting model input data**

<sup>1,2,3</sup>Faculty of Energy, Automation and Telecommunications,  
Karaganda State Technical University,  
Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Мақалада жасанды нейрондық желіні пайдаланып энергия тұтынуды болжау үшін бастапқы деректердің оңтайлы тізімін анықтау үшін металлургиялық кәсіпорынның жүктеме профилі талданады. Бастапқы мәліметтердің тізімі металлургиялық өндірістің жүктеме профилінің сыртқы факторларға тәуелділігін анықтау арқылы анықталады.*

*Металлургиялық өндірістің энергетикалық қажеттілігіне әсер ететін факторлар сипатталған. Металлургия кәсіпорнынның жылдық, апта сайынғы және тәуліктік профилдері негізгі бағыттар мен заңдылықтардың сипаттамасымен келтірілген. Металлургия*

*кәсіпорнынның апта сайынғы жүктеме профилі егжей-тегжейлі талданады, аптаның күндеріне профильдің негізгі сипаттамалары, мысалы, шыңдардағы жүктеме, сәтсіздік, жүктеменің орташа тәуліктік мәні, диапазон аралығы, анықталады.*

*Жүктеме профилдерін талдау негізінде болжамды модель үшін бастапқы деректер ретінде таңдалуы мүмкін айнымалылардың оңтайлы таңдауы анықталды.*

*The article analyzes the load profile of a metallurgical enterprise to determine the optimal list of source data for predicting energy consumption using an artificial neural network. The list of initial data is determined by identifying the dependence of the load profile of metallurgical production on external factors.*

*The factors affecting the energy demand of metallurgical production are described. The annual, weekly and daily load profiles of the metallurgical enterprise are given with a description of the main trends and patterns. The weekly load profile of the metallurgical enterprise is analyzed in detail, the main characteristics of the profile by the days of the week, such as peak load, failure, daily average load value, range span, are identified.*

*Based on the analysis of the load profiles, the optimal choice of variables that can be selected as the source data for the predictive model is determined.*

**А. И. Глазырин<sup>1</sup>, С. А. Глазырин<sup>2</sup>, А. М. Достияров<sup>3</sup>,  
К. Ш. Ержанов<sup>4</sup>, Ж. А. Айдымбаева<sup>5</sup>, М. С. Беспяева<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор ВАК РК, кафедра «Энергетика и Машиностроение», Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., PhD, кафедра «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>д.т.н., профессор ВАК РК, кафедра «Теплоэнергетика», Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., Факультет Инжиниринга, Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, 130000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>teplovik-vhr@yandex.kz; <sup>2</sup>glan-sergey@yandex.ru; <sup>3</sup>dost51@mail.ru; <sup>4</sup>kaly75@mail.ru; <sup>5</sup>diararu@mail.ru; <sup>6</sup>bespaevamaya24@mail.ru

## **СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ СЕРЫ НА ТЭС ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД**

*В статье представлена разработанная Казахстанскими учеными технология снижения объемов выбросов в атмосферу оксидов серы из дымовых газов тепловых электростанций путем утилизации сточных вод. Утилизации подлежат высокоминерализованные сточные воды технологической установки очистки воды методом ионного обмена, включающей Н-катионитные и ОН-анионитные фильтры, а также сбросная продувочная вода барабанных котлов со значением рН, равным 11,5–12. Показаны результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний на реконструированном действующем оборудовании тепловой электрической станции. В качестве вариантов использовались как собственные сбросные воды теплоэнергетических установок, так и высокоминерализованная вода расположенных в непосредственной близости от электростанции соленых озер. Разработанные технические решения позволяют*

*обеспечить повышение степени улавливания оксидов серы с 12 % до 48 %.*

*Ключевые слова: снижение выбросов, сточные воды, утилизация, оксиды серы, тепловая электростанция.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

На современных тепловых электрических станциях производственными стоками являются: вода, загрязненная нефтепродуктами; вода от промывки регенеративных воздухоподогревателей и конвективных поверхностей нагрева котлов; вода от химической очистки и консервации теплоэнергетического оборудования; сточная вода водоподготовительных установок (ВПУ) блочных обессоливающих установок (БОУ); сточная вода системы гидрозолоудаления (ГЗУ). Количество стоков и степень их загрязненности зависят от мощности тепловой электростанции (ТЭС), качества исходной воды, типа установленного оборудования, вида сжигаемого топлива, технологии и схемы очистки воды, состояния оборудования и технического уровня его эксплуатации. Часть сточной воды можно использовать в цикле ТЭС повторно. Особый интерес представляет использование сбросной воды химводоочистки, что позволит максимально приблизить схему водоподготовки к бессточной.

В отходящих газах теплоэнергетических установок, сжигающих органическое топливо, содержащее серу, находится газ в виде  $SO_2$ ,  $SO_3$ . Очистка газа от пыли по схеме с использованием мокрых золоулавливающих установок при орошении газа технической водой, позволяет удалить и часть сернистых составляющих, при растворении их в воде. Для улавливания основной части серы рекомендуется множество технологий с использованием дополнительных реагентов и, как правило, оборудование для этого представляет собой минизаводы. В качестве конечной продукции получают удобрения или серу в твердом виде, необходимую для промышленности. Стоимость очистки газа с улавливанием серы и получением этой продукции составляет 30–50 % от стоимости основного оборудования. Это сдерживает внедрение разработок и рекомендаций по установке такого оборудования. В этой ситуации уходящие газы ТЭУ практически не очищаются от оксидов серы. Появляются кислотные дожди. Сернистые составляющие с дымовыми газами перемещаются от источника по розе ветров на соседние территории, а в Европе – и в другие государства. Ведется поиск более дешевых технологий для снижения выбросов в атмосферу сернистых составляющих. Одним из вариантов следует рассматривать технологию использования различной сбросной воды с высоким солесодержанием и щелочным значением рН для повышения степени улавливания серы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На Экибастузской ТЭС, ВПУ которой эксплуатируется по схеме двухступенчатого натрий – катионирования без осветлителя, проводились работы по исследованию технологических режимов эксплуатации оборудования химводоочистки. Принятые расчетные удельные расходы соли на регенерацию катионита для 1 ступени – 118 г 100 %-й соли на 1 г-экв уловленных катионов солей жесткости, для 2-й ступени – 350 г/г-экв, что соответствует нормам. В период исследования были получены кривые зависимости величин жесткости и хлоридов в воде на сбросе за фильтром в период взрыхления, регенерации и отмывки катионита от времени и расхода воды на эти операции (рисунки 1, 2).

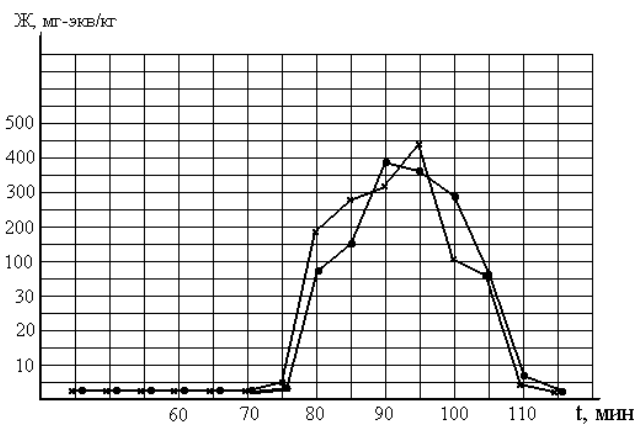


Рисунок 1 – Содержание солей жесткости в отмывочной воде при регенерации натрий – катионитного фильтра 1 ступени

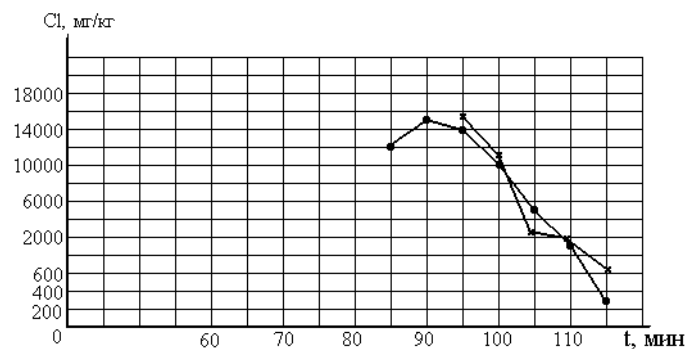


Рисунок 2 – Содержание хлоридов в отмывочной воде

На графике рисунка 1 показана зависимость жесткости воды на сбросе за фильтром от количества пропущенной воды в различных стадиях регенерации катионита натрий катионитного фильтра 1 ступени.

Для перевода ВПУ в режим работы, приближенный к бессточному, с экономией соли и воды на собственные нужды ТЭС, необходимо выполнить исследование, на основании которых составить перечень работ по частичной реконструкции проектной схемы, позволяющей повторно использовать часть отмывочной воды на взрыхление любого резервного фильтра, вышедшего на регенерацию, подачи взрыхляющей воды в баки сбора взрыхляющей воды и подачи части отмывочной воды в баки исходной воды.

Так, для условий эксплуатации ВПУ Экибастузской ТЭС, общая экономия соли составит около 20 %. Экономия воды на собственные нужды составит: 90 % от взрыхляющей воды, около 50 % регенерационного раствора и отмывочной воды.

Общая экономия воды составит около 68,7 % воды, расходуемой в настоящее время на ВПУ на собственные нужды. Остальная сбросная вода (31,3 %) может использоваться в схеме очистки уходящих топочных газов от вредных примесей. Это позволит приблизить эксплуатацию схемы ВПУ к бессточной.

Были опробованы варианты орошения дымовых газов в мокром скруббере водой с высокой минерализацией.

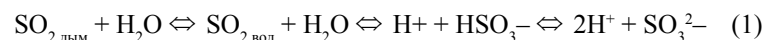
В качестве исходной воды использовали техническую воду, оборотную воду с золоотвала и высокоминерализованную воду из озера «ТУЗ». При использовании технической воды, в зависимости от химического состава и количества орошающей воды, степень улавливания оксидов серы колебалась в широких пределах: от 8 до 13 % зимой и летом, и до 34 % весной, и до 49 % осенью. При орошении газа в скруббере на уровне 140–160 г/м<sup>3</sup> степень улавливания серы при использовании воды озера «ТУЗ» достигала 25–30 %. Вода озера «ТУЗ» содержала суммарно до 1500 мг/кг катионов жесткости, величину pH – на уровне 7,3–7,4, хлоридов – до 19000 мг/кг, сульфатов – до 2100 мг/кг. При использовании только воды озера ТУЗ, и даже смеси воды озера Туз и оборотной с золоотвала в нижней части мокрого скруббера и в верхней части трубы Вентури образуются отложения гипса из-за высокой концентрации в орошающей воде ионов кальция и сульфатных анионов.

При работе над созданием бессточной схемы ВПУ, эксплуатируемой по технологии умягчения, возникает проблема сброса регенерационной воды, содержащей большое количество солей жесткости (в среднем до 170 мг-экв/кг), хлоридов (до 14000 мг/кг), катионов натрия и незначительное количество сульфат анионов SO<sub>4</sub> (до 24 мг/л).

Были проведены исследования по проверке вариантов использования сбросной воды ВПУ в качестве орошающей в типовых мокрых скрубберах, а также в скрубберах, реконструированных для работы в режиме с пенным слоем. В лабораторных условиях пропускали газы через техническую воду. При этом степень улавливания сернистых составляющих не превышала 4–6%.

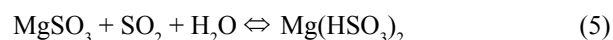
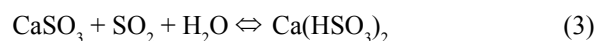
В печи сжигался мазут, и охлажденные топочные газы подавали в бак через сбросные регенерационные воды вентилятором, или пропускали газ, отсасывая его прибором типа MSI Elektronik GmbH с расходом 800 литров в минуту. В начале опытов определили количество серы в газе. Схема пропуска газа через раствор – проточная, газы после бака направлялись в прибор через емкость, загруженную силикагелем, где газ подсушивался.

Известно, что адсорбция SO<sub>2</sub> водой может быть представлена следующим равновесием:

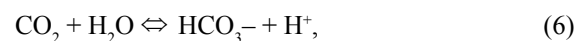


Конечная величина pH раствора после поглощения определяет в какой из форм SO<sub>2 вод</sub> – HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> – SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> будет находиться поглощенный SO<sub>2</sub>.

Процесс поглощения SO<sub>2</sub> жесткими водами представлен уравнениями:



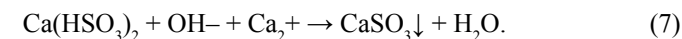
Образование растворимых бисульфитов кальция и магния происходит при атомном соотношении Ca : Mg – 1 : 2 и диапазоне pH 2–4, что позволяет реализовать процесс серопоглощения в жидкой фазе и избежать образования труднорастворимых отложений на поверхностях золоулавливающих устройств. Увеличение степени очистки газа от SO<sub>2</sub> происходит при увеличении pH, но вследствие того, что, начиная с pH равной 5, происходит совместное поглощение и углекислоты:



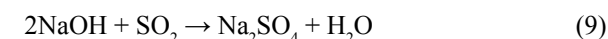
содержание которой в топочных газах на 2 порядка выше, чем содержание SO<sub>2</sub>, оптимальная величина pH должна быть не выше 7. Понижение pH

обуславливает ухудшение поглощения в результате сдвига равновесия влево. Поэтому рекомендуемый интервал pH поглощающего раствора 5–7.

При подщелачивании воды, поглотившей SO<sub>2</sub>, происходит выделение CaSO<sub>3</sub> и MgSO<sub>3</sub> в твердую фазу:



Кроме того, при использовании продувочной воды, протекают следующие реакции:



Любая щелочная вода повышает степень улавливания сернистых составляющих газа и может быть использована в скрубберах с мокрым золоулавливанием. Эффективность сероочистки зависит от величины щелочности (величины pH орошающей воды) и солевого состава.

На тепловых электрических станциях, эксплуатирующих барабанные котлы, в состав сбросной воды входит продувочная, имеющая высокощелочную среду. Добавление незначительного количества продувочной воды в сбросную регенерационную воду повышает значение pH орошаемой воды и, следовательно, повышает степень улавливания серы. На Экибастузской ТЭЦ были проведены исследования по зависимости величины pH смеси от количества продувочной воды (мл), поданной в техническую воду (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость pH смеси от количества добавленной продувочной воды, при значениях pH продувочной воды 12,2

Объем продувочной воды в смеси, мл	pH	Объем продувочной воды в смеси, мл	pH	Объем продувочной воды в смеси, мл	pH
0	7,7	9	8,91	18	9,27
1	8,2	10	8,96	19	9,3
2	8,3	11	9,0	20	9,35
3	8,4	12	9,06	21	9,37
4	8,46	13	9,1	22	9,39
5	8,57	14	9,15	23	9,44
6	8,68	15	9,18	24	9,47

7	8,73	16	9,23	25	9,48
8	8,83	17	9,25	26	9,51

Расчеты показывают, что при работе 8 котлов, средняя нагрузка по станции 400 т/ч пара, следовательно, количество продувочной воды 8 т/ч, а количество уходящих газов 500000 м<sup>3</sup>/ч. Для орошения скруббера (0,15 кг/м<sup>3</sup>) и трубы Вентури (0,15 кг/м<sup>3</sup>) суммарно требуется 0,3 кг/м<sup>3</sup> газа или 150 т/ч орошающей воды. Для повышения рН до 8,5 требуется добавить 0,2 % продувочной воды или 0,3 т/ч. Общее количество продувочной воды 8 т/ч. А при использовании пенного слоя для орошения скруббера расход воды снижается до 0,1 кг/м<sup>3</sup> на скруббер и трубу Вентури или 100 т орошающей воды.

Для подтверждения лабораторных исследований и расчетов были проведены опытно – промышленные испытания на действующем оборудовании, при которых проверялась эффективность использования сбросных высокоминерализованных регенерационных и отмывочных вод схем подготовки воды для повышения степени улавливания золы и сернистых составляющих из уходящих топочных газов.

Средние анализы отмывочной воды, которую подавали в мокрый скруббер, имели жесткость на уровне 85 мг-экв/кг. При работе ТЭС с производительностью ВПУ 500 т/ч по первой ступени натрий – катионирования количество сбросной воды при повторном использовании ее для приготовления регенерационного раствора с использованием топочных газов составляет 33 тонны на 1 регенерацию. Воду после взрыхления натрий – катионитных фильтров можно повторно использовать в качестве исходной после отстоя ее в отдельном баке, а осадок из бака направлять в мокрый скруббер в качестве орошающей воды. Количество такой воды на Экибастузской ТЭС около 70 м<sup>3</sup>/ч.

По данным производственно-технического отдела (ПТО) Экибастузской ТЭС количество продувочной воды котлов в среднем составляет около 2,05 %, что соответствует в среднем 7,9 т/ч.

В городе Сарань на заводе резинотехнических изделий, где установлены котлы среднего давления, работающие на углях Карагандинского месторождения, был реконструирован мокрый скруббер с тангенциальным подводом дымовых газов и пленочным орошением технической водой. Существующий скруббер реконструировали с установкой на входе газа дырчатой тарелки со стабилизатором пены в виде деревянной решетки.

Применение стабилизатора пены позволило существенно сократить расход воды на скруббер. Подачу воды организовали так, чтобы температура уходящих газов была выше температуры точки росы. Выполнены гидравлический и тепловой расчеты скруббера при принятом «живом»

сечения тарелки 60 %. Расчеты и замеры перепада давления показали, что сопротивление скруббера дополнительно повысилось на 336 Па, что допустимо по условиям работы дымососа без его замены. Были установлены два дополнительных распылителя. Тарелка была установлена на опорах и зафиксирована в положении, позволяющем свободно стекать орошающей воде по стенкам. В верхней части скруббера установлен каплеотбойный щит. Орошающее устройство, предусмотренное проектом, не реконструировали.

Характеристика скруббера: внутренний диаметр – 2,5 м, предусмотрен тангенциальный подвод газа в нижнюю часть скруббера. Орошение стенок скруббера осуществлялось форсунками в верхней части. Максимальное количество газа 25,8 м<sup>3</sup>/с (92880 м<sup>3</sup>/ч), расход воды на орошение фактически 4,6\*10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/с или 0,18\*10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газа. При общей производительности ВПУ на подпитку котлов 220 т/ч и по тепловым сетям 300 т/ч, с ВПУ сбрасывается в среднем 102 м<sup>3</sup>/ч сточной воды. При установленных в котельной 4 котлах низкого давления и 4 среднего, производительностью 50 т/ч пара, общая величина продувочной воды составляет 19,68 т/ч при среднем солесодержании 7,5\*10<sup>-3</sup> кг/кг и величине рН, равной 11,8. При работе всех котлов количество топочных газов не превышает 74000 м<sup>3</sup>/ч. при плотности орошения 0,18\*10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газа, для 8 скрубберов требуется 133 м<sup>3</sup>/ч воды. Однако с реконструкцией скруббера для использования пенного слоя величина расхода орошающей воды снижается до 0,1 кг/м<sup>3</sup>.

Баланс сбросной воды котельной показывает, что суммарное количество ее, с учетом продувочной воды, равное (102 + 20 = 122) т/ч, практически закрывает потребность в воде для орошения газов в реконструированном скруббере. Смесь сбросных вод имела в среднем солесодержание от 5,5 до 7,6 кг/кг\*10<sup>-3</sup> и величину рН около 7,6, а в смеси с продувочной водой – около 9,1.

Провели исследования по возможности использования сбросной регенерационной воды с натрий – катионитных фильтров при жесткости более 30 мг-экв/кг для повышения степени улавливания сернистых составляющих топочных газов на мокрых скрубберах Экибастузской ТЭС. В ряде опытов в сбросную воду дополнительно добавляли продувочную с котлов и достигали значения рН 9,2–9,3.

По результатам выполненных исследований для Экибастузской ТЭС предлагается ряд рекомендаций по ведению режимов на ВПУ, что позволит экономить соль и воду. Основная часть рекомендаций не требует дополнительных затрат на реконструкцию схемы, однако необходимо внести изменения в режимы выполнения операций при проведении регенерации.

В соответствие данных химического цеха в течение года на ВПУ ТЭЦ поступило 2355227 т воды, из них на собственные нужды затратили

371670 т воды, что составляет 18,738 % от количества очищенной воды. Выработано воды на подпитку теплосети 1896430 т., на конденсатоочистке 87127 т. За период с января по октябрь на ВПУ поступило 1828937 т воды. Очищено 60277 т конденсата и 1420995 т воды для подпитки тепловых сетей. На собственные нужды затрачено 347665 т воды, что составляет 23,47 % от количества очищенной воды. Таким образом, в среднем на собственные нужды расходуется 21,1 % от количества очищенной воды или в среднем 32697 т воды в месяц.

## ВЫВОДЫ

Исследования показали, что из общего количества воды израсходованной на собственные нужды на взрыхление поступило 46,7 %. На приготовление регенерационного раствора 2,63 %, на отмывку катионита 50,67 %.

Регенерация фильтров 1 ступени Экибастузской ТЭС выполняется в следующих режимах:

1 Взрыхление при среднем расходе воды до 150 м<sup>3</sup>/ч и продолжительность от 30 до 60 минут. Общие средние затраты на одно взрыхление при регенерации фильтра составляет 51,14 м<sup>3</sup>. Взрыхление выполняется осветленной водой после механических фильтров. Вода после взрыхления сбрасывается в канализацию. Общие среднегодовые потери воды ежемесячно на взрыхление фильтров ВПУ составляют 15269,5 т. При включении баков отстоя взрыхляющей воды с последующим возвратом ее части в цикл ВПУ (в «голову» схемы для очистки) можно экономить до 90 % взрыхляющей воды. Взрыхление ионнообменного материала желательно осуществлять частью отмывочной воды, содержащей соли жесткости в среднем на уровне до 15 мг-экв/кг. Для этого необходимо отмывочную воду с жесткостью ниже 30 мг-экв/кг собирать в баке для повторного использования. Учитывая, что на ВПУ имеется достаточный резерв фильтров, предлагается первый фильтр, вышедший на регенерацию, временно оставить в резерве. Второй фильтр, вышедший на регенерацию регенерировать согласно проектной технологии, а отмывочную воду с этого фильтра использовать в качестве взрыхляющей воды для первого фильтра. Взрыхление катионита отмывочной водой, в которой содержится регенерационный раствор, позволит частично отрегенировать катионит, что может экономить 20–30 % соли на регенерацию.

2 Регенерация катионита выполняется 8 %-м раствором соли. Для приготовления регенерационного раствора в среднем необходимо 2,88 т воды. В растворе на сбросе содержание солей жесткости в период пропуска регенерационного раствора не одинаковое. В течение 15 минут от начала пропуска регенерационного раствора из объема фильтра вытесняется

чистая вода, которая сбрасывается в канализацию и теряется. Эта вода по качеству равнозначна качеству исходной и должна быть возвращена в цикл ВПУ через бак исходной воды. В среднем для 1 ступени количество чистой воды составляет не менее 25 т для каждой регенерации или 45 % от общего количества отмывочной воды.

3 Отмывка катионита от регенерационного раствора и продуктов регенерации требует расхода воды в количестве 50,67 % от общего расхода воды на собственные нужды. Это в среднем 55,48 т за регенерацию, из которых 25 т вытесняется из фильтра в первой фазе отмывки. 10–15 последних минут отмывки отмывочная вода со средней жесткостью 15 мг-экв/кг может использоваться как взрыхляющая. Таким образом, из общего времени пропуска регенерационного раствора и отмывочной воды в 55–70 минут, от 25 до 30 минут, сбросная вода должна повторно использовать в цикле ВПУ.

Для скруббера с пенным слоем степень очистки газа от золы достигала 97,2 % и в среднем находилась на уровне 96,5 %. Степень улавливания сернистых примесей зависит от величины рН смеси и солесодержания используемой сбросной воды и колеблется в пределах от 25 % до 32 %, в среднем около 28 % – для сбросной воды ВПУ, от 48 до 54, в среднем 52 – для смеси сбросной и продувочной воды и от 57 до 63, в среднем 61 – для смеси сбросной и продувочной воды в пенном слое.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Глазырин, С. А. Использование компонентов дымовых газов в промышленности. – Алматы (деп. в КАЗНИИТИ, 05.10.1998, № 8462-Ка98), – 48 с.

2 Глазырин, С. А., Глазырина, Н. С. Проектирование Универсальной установки для утилизации компонентов дымовых газов котельных с котлами низкого давления / Международная научно-практическая конференция «Проблемы и достижения в промышленной энергетике», – РФ. Екатеринбург, 2010. – С. 74–77.

3 Глазырин, С. А., Глазырина, Н. С., Елубаева, А. Д. Экібастұз ЖЭО төгінді суын пайдалану / Международная научно-техническая конференция «IV чтения Ш. Шокина». – Павлодар, 2010. – Т. 1. – Б. 177–182.

4 Глазырин, С. А., Глазырина, Н. С., Елубаева, А. Д. Көбікті қабатты пайдалану максатымен скрубберді қайта құру / Международная научно-техническая конференция «IV чтения Ш. Шокина». – Павлодар, 2010. – Т. 1. – Б. 183–186.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*А. И. Глазырин<sup>1</sup>, С. А. Глазырин<sup>2</sup>, А. М. Достияров<sup>3</sup>, К. Ш. Ержанов<sup>4</sup>,  
Ж. А. Айдымбаева<sup>5</sup>, М. С. Беспяева<sup>6</sup>*

**ЖЭО-да қоқыс шығаратын судың таралуы арқылы күкіртті оксидтердің эмиссиясын азайту**

<sup>1</sup>М. Дулатов атындағы

Қостанай инженерлік-экономикалық университеті,

Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы;

<sup>3,5</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті,

Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Ш. Есенов атындағы

Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,

Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы;

<sup>6</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. I. Glazyrin<sup>1</sup>, S. A. Glazyrin<sup>2</sup>, A. M. Dostiyarov<sup>3</sup>, K. S. Erzhanov<sup>4</sup>,  
Z. A. Aidymbayeva<sup>5</sup>, M. S. Bespayeva<sup>6</sup>*

**Reduction of sulfur oxides emissions at TPP by waste water disposal**

<sup>1</sup>M. Dulatov Kostanay Engineering and Economics University,

Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>L. N. Gumilyov Eurasia National University,

Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan;

<sup>3,5</sup>G. Daukeev Almaty University

of Power Engineering and Telecommunications,

Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Yessenov University,

Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan;

<sup>6</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада қазақстандық ғалымдар ағынды суларды ағызу арқылы жылу электр станцияларының түтін газдарынан күкірт оксидтерінің шығарылуын азайту технологиясын ұсынады. Суды ион алмастыру арқылы тазартуға арналған технологиялық қондырғының*

*жогары тұзды ағынды суларын, соның ішінде Н-катион алмасуын және ОН-анион алмасу фильтрлерін, сондай-ақ рН мәні 11,5–12 барабан қазандықтарынан шыққан ағынды суларды тастауға болады. Жылу электр станциясының қайта жаңғыртылған жабдықтарында зертханалық зерттеулер мен өндірістік сынақтардың нәтижелері көрсетілген. Опция ретінде біз жылу электр станцияларының ағынды суларын және тұзды көл электр станциясының тікелей жаында орналасқан жогары минералданған суды пайдаландық. Әзірленген техникалық шешімдер күкірт оксидтерінің түсу дәрежесін 12 %-дан 48 %-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді.*

*The article presents the technology developed by Kazakhstani scientists to reduce emissions of sulfur oxides from the flue gases of thermal power plants through waste water disposal. Highly saline wastewater of the technological plant for water purification by ion exchange, including H-cation exchange and OH-anion exchange filters, as well as waste purge water from drum boilers with a pH value of 11.5–12 are subject to disposal. The results of laboratory research and industrial tests on the reconstructed existing equipment of a thermal power plant are shown. As options, we used both our own waste water from thermal power plants and highly mineralized water located in the immediate vicinity of the salt lakes power plant. The developed technical solutions will make it possible to increase the degree of capture of sulfur oxides from 12 % to 48 %.*

**С. А. Глазырин<sup>1</sup>, А. И. Глазырин<sup>2</sup>, А. М. Достияров<sup>3</sup>,  
К. Ш. Ержанов<sup>4</sup>, Ж. А. Айдымбаева<sup>5</sup>, М. С. Беспяева<sup>6</sup>,  
К. Ж. Советай<sup>7</sup>, Д. С. Асанова<sup>8</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., PhD, кафедра «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор ВАК РК, кафедра «Энергетика и Машиностроение», Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>д.т.н., профессор ВАК РК, кафедра «Теплоэнергетика», Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., Факультет Инжиниринга, Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, 130000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>7</sup>магистрант, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан;

<sup>8</sup>магистрант, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>glan-sergey@yandex.ru; <sup>2</sup>teplovik-vhr@yandex.kz; <sup>3</sup>dost51@mail.ru;

<sup>4</sup>kaly75@mail.ru; <sup>5</sup>diararu@mail.ru; <sup>6</sup>bespaevamaya24@mail.ru;

<sup>7</sup>sov.kuanysheva@gmail.com; <sup>8</sup>assanovadinara@mail.ru

## **СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

*В статье описаны результаты исследований, направленных на снижение воздействия биоэнергетических установок, сжигающих биогаз с целью получения тепловой и электрической энергии, на окружающую среду. Предложено технологическое решение по утилизации отработанной сброженной биомассы с получением биогаза, повышающего урожайность в сельском хозяйстве. Предложено технологическое решение по очистке*

*биогаза и утилизации углекислого газа. Также предложено технологическое решение по очистке и утилизации дымовых газов, образующихся в результате сжигания очищенного биогаза в биоэнергетической установке. В результате предложенного комплексного технологического решения получаем возможность производить и эксплуатировать безотходные биоэнергетические установки с утилизацией навоза домашних животных и отходов жизнедеятельности человека с получением готовой продукции в виде электрической и тепловой энергии, биогаза, углекислого газа пищевого качества, технического азота для увеличения сроков хранения сельскохозяйственной продукции.*

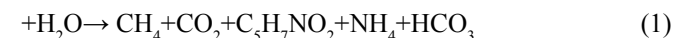
*Ключевые слова: утилизация навоза, биоэнергетические установки, биогазовые установки, снижение выбросов, биогаз, сельское хозяйство*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В результате жизнедеятельности как человека, так и прирученных им домашних животных, образуются отходы жизнедеятельности, которые в настоящее время успешно утилизируются с использованием технологий получения горючего биогаза путем сбраживания.

Наиболее эффективными технологиями использования биомассы в биоэнергетике являются прямое сжигание; пиролиз; газификация; анаэробная ферментация с образованием метана; производство спиртов и масел для получения моторного топлива. Одним из наиболее эффективным методом утилизации является анаэробная ферментация с образованием метана с последующим его сжиганием в когенерационных установках.

В результате анаэробного брожения получаем органические соединения



Нерастворимые органические вещества (белки, углеводы, жиры), которые присутствуют в биомассе, начинают распадаться на простейшие органические соединения (аминокислоты, сахара, жирные кислоты). Эта стадия называется – гидролизом и протекает под воздействием ацидогенных бактерий. На второй стадии происходит гидролизное окисление части простейших органических соединений под воздействием гетероацетогенных бактерий, в результате которой получается ацетат, двуокись углерода и свободный водород. Другая часть органических соединений с полученным ацетатом на 2 стадии ацетатом образует C1 соединения (простейшие органические кислоты). Полученные вещества являются питательной



средой для метанобразующих бактерий 3 стадии. 3 стадия протекает по двум процессам, вызванные различной группой бактерий. Эти две группы бактерий преобразуют питательные соединения 2-й стадии в метан  $CH_4$ , воду  $H_2O$ , двуокись углерода.

В результате технико-экономического анализа было выяснено, что в малых крестьянских хозяйствах до 400–500 голов крупного рогатого скота (КРС) экономически целесообразнее использовать биоэнергетическую установку, а выработку электрической и тепловой энергии экономически целесообразно при количестве навоза от 500 голов КРС и более.

В таблице 1 показан сравнительный анализ энергетических показателей биогаза с традиционными источниками энергии.

Таблица 1 – Сравнительные энергетические показатели традиционных энергоносителей и биогаза

Источник энергии	Единицы измерения	Эквивалент 1 м <sup>3</sup> неочищенного биогаза 23 МДж/м <sup>3</sup>	Эквивалент 1 м <sup>3</sup> очищенного биогаза 35,2 МДж/м <sup>3</sup>
Электроэнергия	кВт·ч	0,62	0,94
Природный газ	м3	0,61	0,93
Уголь	кг	0,82	1,25

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследования проводились на базе крестьянского хозяйства ТОО «АсылТұқым», которое находится в селе «Приречное» Целиноградского района Акмолинской области на расстоянии 40 километров от г. Нур-Султан по Павлодарской трассе. Исходными данными являются: количество голов КРС – 200 голов; источник водоснабжения – собственная скважина; продолжительность стойлового периода – 220 суток; механизм (конвейер) автоматической выгрузки навоза из помещения коровника в емкость сбора и гомогенизации сырья.

Были разработаны биореактор и технологические схемы биогазовой (БГУ) и биоэнергетической (БЭУ) установок (рисунки 1 и 2).

После процесса брожения и получения биогаза вторым по актуальности и значимости был вопрос не только создания безотходной схемы установки в обоих случаях, но и получение готовой продукции при утилизации газообразных и жидких отходов.

И в БГУ и в БЭУ при разработке биореактора был разработан узел обезвоживания перебродившей массы, после которого поток отработавшей и перебродившей биомассы разделялся на два потока: отжатая вода возвращалась

в емкость сбора и гомогенизации жидкого сырья, а отжатый, уже готовый, биогурус направлялся или на использование на собственные нужды для повышения урожайности, или для реализации сторонним потребителям. Предполагаемый объем биогуруса от 200 голов КРС в объеме около 4500 кг в сутки делает экономически целесообразным создать круглогодичный стойловый период КРС с созданием специальных силосных полей.

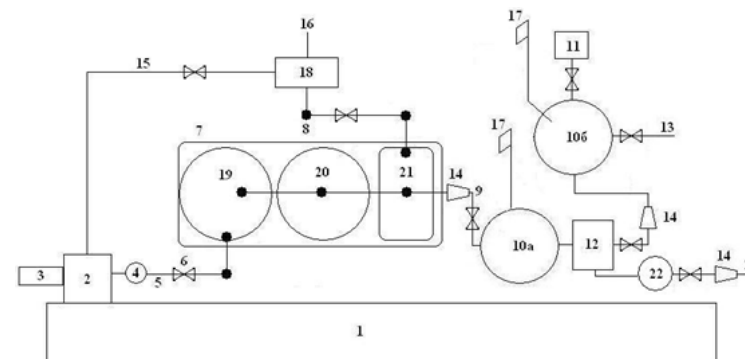


Рисунок 1 – Технологическая схема биогазовой установки

1 – ферма с КРС; 2 – емкость сбора и гомогенизации жидкого сырья; 3 – узел досыпки исходного сырья извне; 4 – фекальный насос; 5 – линия подачи готового к брожению сырья в реактор (диаметром не менее 300 мм); 6 – задвижка нерегулируемая; 7 – реактор с перемешивающим устройством, рубашкой обогрева и автоматическим регулятором температуры, отводами биогаза и перебродившей массы, горизонтальный, состоящий из 3 отсеков. Ориентировочные геометрические размеры: общий объем не менее 235,5 м<sup>3</sup>, диаметр 5 метров, длина 12 метров; 8 – узел отвода и сбора перебродившей массы; 9 – коллектор сбора биогаза с компрессором для подачи в газгольдер низкого давления; 10а – газгольдер низкого давления, объемом на суточную номинальную производительность, объемом не менее 450 м<sup>3</sup>; 10б – газгольдер высокого давления, объемом на 30-и суточную номинальную производительность, с давлением до 20 МПа; 11 – узел заправки газовых баллонов с компрессором; 12 – узел очистки биогаза от углекислого газа; 13 – подача газа в газопровод; 14 – компрессор; 15 – линия возврата отжатой воды; 16 – подача сухого остатка для получения удобрений; 17 – аварийная свеча; 18 – узел обезвоживания перебродившей массы; 19 – Секция начала брожения: до 5 суток, объемом на 5-и суточную номинальную производительность – 50 тонн; 20 – Секция основного этапа брожения, объемом на 8-и суточную номинальную производительность – 80 тонн;

21 – Секция оставшегося брожения, объемом на 5-и суточную номинальную производительность – 50 тонн; 22 – газгольдер с углекислым газом; 23 – линия закачки углекислого газа в баллоны компрессором.

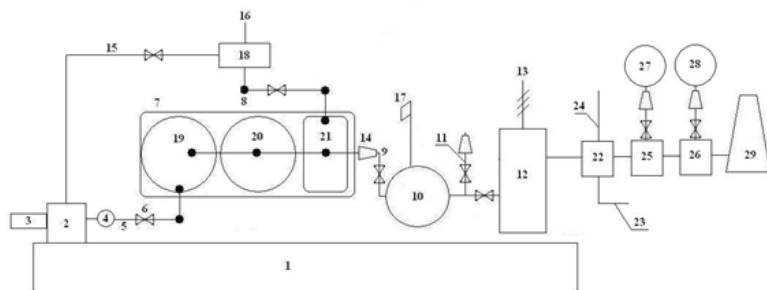


Рисунок 2 – Технологическая схема биоэнергетической установки

1 – ферма с КРС; 2 – емкость сбора и гомогенизации жидкого сырья; 3 – узел досыпки исходного сырья извне; 4 – фекальный насос; 5 – линия подачи готового к брожению сырья в реактор (диаметром не менее 300 мм); 6 – задвижка нерегулируемая; 7 – реактор с перемешивающим устройством, рубашкой обогрева и автоматическим регулятором температуры, отводами биогаза и перебродившей массы, горизонтальный, состоящий из 3 отсеков; 8 – узел отвода и сбора перебродившей массы; 9 – коллектор сбора биогаза с компрессором для подачи в газгольдер низкого давления; 10 – газгольдер низкого давления, объемом на суточную номинальную производительность, объемом не менее 450  $\text{nm}^3$ ; 11 – заправка газовых баллонов с компрессором; 12 – когенерационная установка; 13 – линия подачи выработанной электрической энергии в энергосистему; 14 – компрессор; 15 – линия возврата отжатой воды; 16 – подача сухого остатка для получения удобрений; 17 – аварийная свеча; 18 – узел обезвоживания перебродившей массы; 19 – Секция начала брожения: до 5 суток, объемом на 5-и суточную номинальную производительность – 50 тонн; 20 – Секция основного этапа брожения, объемом на 8-и суточную номинальную производительность – 80 тонн; 21 – Секция оставшегося брожения, объемом на 5-и суточную номинальную производительность – 50 тонн; 22 – котел-утилизатор или газовой теплообменник; 23 – подача обратной сетевой воды из теплосети; 24 – подача прямой сетевой воды в теплосеть; 25 – узел очистки дымовых газов с получением углекислого газа; 26 – узел доочистки дымовых газов с получением технического азота; 27 – газгольдер углекислого газа с узлом закачки углекислоты в баллоны; 28 – газгольдер технического азота с узлом закачки азота в баллоны; 29 – дымовая труба.

В биогазовой установке газообразным продуктом является углекислый газ, выделяемый из полученного биогаза в установке 12 (рисунок 1). Биогаз после удаления углекислоты по теплотворным характеристикам приближен к природному газу и направляется по газопроводу к потребителю или для закачки в баллоны.

В биоэнергетической установке биогаз сжигается в когенерационной установке без очистки, а вот дымовые газы подаются сначала на узел 25 для очистки дымовых газов с получением углекислого газа, после газы подаются на узел 26 для доочистки с получением технического азота.

В качестве поглотителя сероводорода и углекислого газа применяют водные растворы алканоламинов. Алканоламины, являясь слабыми основаниями, вступают в реакцию с кислыми газами  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ , за счет чего происходит очистка газа. Образующиеся соли при нагревании насыщенного раствора легко разлагаются. Наиболее известными этаноламинами, используемыми в процессах очистки газа от  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  являются: моноэтанолламин (МЭА), диэтанолламин (ДЭА), триэтанолламин (ТЭА), дигликольламин (ДГА), диизопропанолламин (ДИПА), метилдиэтанолламин (МДЭА). До настоящего времени в промышленности на установках по очистке кислых газов в качестве абсорбента, в основном, применяется МЭА, а также ДЭА. Однако в последние годы наблюдается тенденция по замене МЭА наиболее эффективным абсорбентом – МДЭА.

## ВЫВОДЫ

Биогазовая установка, использующая навоз от 200 КРС, в среднем производит около 300 кубометров биогаза в сутки, в том числе около 200 кубометров очищенного биогаза, около 90 кубометров пищевого углекислого газа и около 4500 кг биогумуса в сутки.

Биоэнергетическая установка, использующая навоз от 200 КРС, в среднем производит около 39 киловатт в час, или 341000 киловатт-часов в год, около 200 кубометров пищевого углекислого газа, около 600 кубометров технического азота и около 4500 кг биогумуса в сутки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Глазырин, С. А., Абильдинова, С. К., Сухамбеков, А. Ж., Оспанов, Х. Концепция получения биогаза из навоза КРС ТОО «АсылТұқым» / Отчет о НИР, ТОО «АсылТұқым». № гос. регистрации 0118РКИ0393. инв. № 0218РКИ0194, Астана, 2018. – 34 с.

2 Барбара Эдер, Хайнц Шульц. Биогазовые установки : практическое пособие / пер.с нем. – Zürich : ZorgBiogas, 2008. – 168 с.

3 Lactobacillus Molecular Biology: From Genomics to Probiotics / ed. A. Ljungh, T. Wadstrom. – Lund : Caister Academic Press, 2009. – 206 p.

4 Добрынина, О. М., Калинина, Е. В. Методы утилизации отходов производства и потребления с получением биогаза // Вестник Пермского государственного технического университета. – Пермь, 2010. – С. 48–58.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

С. А. Глазырин<sup>1</sup>, А. И. Глазырин<sup>2</sup>, А. М. Достияров<sup>3</sup>, К. Ш. Ержанов<sup>4</sup>, Ж. А. Айдымбаева<sup>5</sup>, М. С. Беспяева<sup>6</sup>, К. Ж. Советай<sup>7</sup>, Д. С. Асанова<sup>8</sup>

**Қоршаған ортаға биоэнергетикалық қондырғылардың қоршаған ортаға әсері**

<sup>1,7,8</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>М. Дулатов атындағы  
Қостанай инженерлік-экономикалық университеті,  
Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3,5</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Ш. Есенов атындағы  
Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,  
Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы;

<sup>6</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

S. A. Glazyrin<sup>1</sup>, A. I. Glazyrin<sup>2</sup>, A. M. Dostiyarov<sup>3</sup>, K. S. Erzhanov<sup>4</sup>, Z. A. Aidymbayeva<sup>5</sup>, M. S. Bespayeva<sup>6</sup>, K. Z. Sovetay<sup>7</sup>, D. S. Asanova<sup>8</sup>

**Environmental impact of bioenergy installations on the environment**

<sup>1,7,8</sup>L. N. Gumilyov Eurasia National University,  
Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>M. Dulatov Kostanay Engineering and Economics University,  
Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3,5</sup>G. Daukeev Almaty University  
of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Yessenov University,  
Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan;

<sup>6</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада жылу және электр энергиясын өндіру мақсатында биогазды жағатын биоэнергетикалық қондырғылардың қоршаған ортаға әсерін төмендетуге бағытталған зерттеулердің нәтижелері сипатталған. Ауылшаруашылық өнімділігін арттыратын биохумус алу үшін жұмсалған ашытылған биомассаны жою үшін технологиялық шешім ұсынылады. Биогазды тазарту және көмірқышқыл газын кәдеге жаратудың технологиялық шешімі ұсынылған. Биоэнергетикалық қондырғыда тазартылған биогазды жағу нәтижесінде пайда болатын газды тазарту мен кәдеге жаратудың технологиялық шешімі ұсынылған. Ұсынылған кешенді технологиялық шешімнің нәтижесінде біз ауылшаруашылық өнімдерінің сақтау мерзімін арттыру үшін дайын өнімді электр және жылу энергиясы, вермикомпост, тамақ түріндегі көмірқышқыл газы, техникалық азот түрінде қабылдау арқылы жануарлардың көңіл және адам қалдықтарын қолданумен қалдықсыз биоэнергетикалық қондырғылар шығарып, жұмыс жасай аламыз.*

*The article describes the results of studies aimed at reducing the environmental impact of bioenergy plants burning biogas in order to produce heat and electric energy. A technological solution is proposed for the disposal of spent fermented biomass to produce biohumus, which increases agricultural productivity. A technological solution for the purification of biogas and utilization of carbon dioxide is proposed. A technological solution for cleaning and utilizing flue gases resulting from the burning of purified biogas in a bioenergy plant is also proposed. As a result of the proposed complex technological solution, we get the opportunity to produce and operate waste-free bioenergy plants with the utilization of manure of domestic animals and human waste with the receipt of finished products in the form of electric and thermal energy, biohumus, food-grade carbon dioxide, technical nitrogen to increase the shelf life of agricultural products.*

**T. I. Glushchenko<sup>1</sup>, T. V. Bedych<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>k.e.s., senior lecturer, Agrarian Technical Institute, A. Baitursynov Kostanay State University, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>k.t.s., head of department, Faculty of Engineering and Technology, M. Dulatov Kostanay Engineering and Economic University, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan

e-mail: <sup>1</sup>tatyana194@inbox.ru; <sup>2</sup>tbedych@mail.ru

**POWER STABILIZATION OF WIND POWER PLANTS**

*The authors present an analysis and prerequisites for using of autonomous electric power systems in rural areas, environment oriented, energy conservation and consumer independence from the traditional power supply system. Material based on the world experience in the use of renewable energy and contemporary trends. The article substantiates using of wind energy and Solar energy in the Autonomous electric power system in relation to north part of the Kazakhstan. The article considers the joint use of wind power plants and photovoltaic converters, which allows to stabilize energy flows from renewable energy sources with different annual highs and lows, since in winter wind energy prevails, and in summer – solar energy. The complementary use of solar and wind energy for an autonomous power supply system in Northern Kazakhstan is shown, which allows to eliminate the main disadvantage of renewable energy-instability over time. In article, presented the annual graphs of the generated power of wind power plants and the graphs of the power of photoelectric converters. Comparison of the total capacity of an autonomous electric power plant with the load schedule of the settlement of Kostanay region is given, proving the possibility of using an autonomous electric power system from renewable energy sources, thereby ensuring the energy autonomy of the settlement.*

*Keywords: Solar energy, wind energy, power stabilization, autonomous electric power system.*

**INTRODUCTION**

Autonomous power plants with capacities ranging from several hundred watts to several hundred kilowatts are widely demanded in different sectors of the economy and geographical regions, where a larger population lives outside centralized energy supply systems. Today, the power supply of autonomous

consumers is provided mainly with the help of gasoline and diesel generators, the operation of which is associated with high costs for the periodic delivery of fuel and services. In addition to the above, there are additional negative factors for the use of such plants, which include emissions of combustion products into the environment and noise. A serious environmental problem is the pollution of the environment by fuel containers [1].

In last time, combined diesel-wind or diesel-photovoltaic autonomous power plants are finding wider application, using of which renewable sources allows saving organic fuel. However, such technical solutions do not lead to a radical solution to the problem. It should be noted that they carry most of the significant shortcomings that are characteristic of traditional installations using imported fossil fuels.

**MAIN PART**

The purpose of the article is to analyze the possibility of creating autonomous power plants that will work only on renewable energy sources. The priority is solar and wind energy, which are the most universal and universally available.

Kazakhstan has significant resources of solar and wind energy. From the point of view of evaluating the resources of solar energy, the most objective are the data on the arrival of solar radiation on the surface, optimally (that is, providing maximum collection of solar radiation) oriented in space. Solar collectors and photoconverters are usually installed motionless (without tracking systems for the Sun) with the orientation of the receiving surface to the south. In this case, depending on the latitude of the terrain and the period of operation of the installation, there is an optimal angle of inclination of the receiver to the horizon, which is approximately latitude during year-round operation, and at -10–15° at seasonal (warm season). It should be emphasized that in this case, each geographical point corresponds to its optimal angle of inclination of the receiver to the horizon. Kazakhstan, as you know, has large resources of solar energy.

The potential solar energy production in the country is estimated at 2.5 billion kWh per year. Regions with a predominance of sunny days per year include about 70 % of the territory of Kazakhstan. Here, the duration of sunshine varies from 2800 to 3000 hours, the year arrival of solar radiation in this area is at least 19 \* 10<sup>17</sup> kcal, which is equivalent to 270 billion tons of equivalent fuel equivalent [2].

With regard to wind energy, 50 % of the territory of Kazakhstan has an average annual wind speed of 4–5 m/s, and a number of regions have a wind speed of 6 m / s or more, which determines very good prospects for using wind energy. According to experts, Kazakhstan is one of the countries in the world with the most suitable conditions for the development of wind energy. Windy places are located in the Caspian region, in the center and in the north of Kazakhstan, in

the south and southeast of Kazakhstan. Considering the density of wind power capacity of 10 MW / km<sup>2</sup> and the presence of significant free spaces, we can assume the possibility of installing several thousand MW of wind power in Kazakhstan. According to some sources, the theoretical wind potential of Kazakhstan is about 1820 billion kWh per year. As studies have shown, the Dzungarian Gate has a very high wind potential. The average annual wind speed here is 9.7 m/s at an altitude of 50 meters, and the density of the wind flow is about 1050 W/m<sup>2</sup>. This makes it possible to generate approximately 4400 kWh of electricity per kW of installed wind power, which makes this place unique for wind power. The Shelek corridor, located between the Zailiysk's Alatau and Zhetysuysk's mountain ranges at a distance of 150 km from Almaty, also has good wind potential with an average annual wind speed of 7.8 m/s at a height of 50 meters and a wind flux density of about 510 W/m<sup>2</sup>, which makes it possible to generate about 3200 kWh of electricity per kW of installed wind power. This compares with good windy places in Europe. In the Shelek corridor, it is also possible to install hundreds of MW of wind power capacity with an annual electricity production of about 1 billion kWh. Both places, the Dzungarian Gate and the Shelek corridor, are located in areas with a large shortage of electricity, which makes the construction of wind farms in these places attractive [3].

Significant disadvantages of solar and wind energy are the relatively low density of energy flows (for solar energy, the average annual power does not exceed 200–250 W/m<sup>2</sup>, and for wind (with an average wind speed of 8–9 m/s), as well as their irregularity and dependence on seasonal and weather conditions.

It is necessary to emphasize the incorrectness of estimates for power at a point (in one mode) for processes that change in time (for example, water, wind and can change at different times of the day).

When creating decentralized energy supply systems, the problem arises of providing consumers with electric energy, the parameters of which satisfy the necessary requirements. This problem is especially acute when creating systems based on non-traditional sources using the mechanical energy of renewable natural resources [4].

The main problem of autonomous power supply systems is the instability of renewable energy flows. Using the example of a settlement in the Kostanay region, we consider a possible option for stabilizing energy.

Based on weather data, the average wind speed for the Kostanay region is 4.4 m/s., It is considered permissible for the installation and use of a wind generator.

Determine the power developed by the wind wheel, according to the expression [5].

$$P_{вк} = \rho \frac{A}{2} \cdot v^3 \cdot \zeta \tag{1}$$

$\rho$  – this is the air density kg / m<sup>3</sup>;

$A$  – is the surface of the capture of the wings of a wind wheel, m<sup>2</sup>;

$v$  – is the wind speed for a given region, m/s;

$\zeta$  – is the coefficient of utilization of wind energy = 0.59.

The surface of the capture of the wings of a wind wheel is found by the expression:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0,78 \cdot D^2 \tag{2}$$

where  $D$  – this is the diameter of the wind wheel, m;

To calculate the generated power we take a wind generator with power 100 kW, with a rotor diameter of 25 m.

The calculation is made for the month of January  $\rho=1.48$  kg / m<sup>3</sup>. Substitute data in formula (1):

$$P_{вк} = 1,48 \frac{0,78 \cdot 25^2}{2} \cdot 4,3^3 \cdot 0,59 = 16922,5 \text{ Вт/ч.}$$

Similarly, we calculate for the remaining months of the year, taking for calculations 1; 5 and 10 wind generators.

### CONCLUSION

The calculation results are presented on the graph (Fig. 1) of the generated power by units of one, five and ten wind generators.

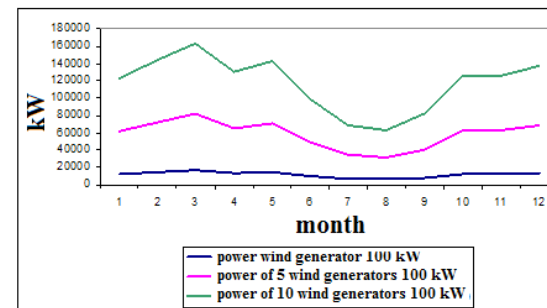


Figure 1 – Annual schedule of generated power by a 100 kW wind generator

This graph shows that the maximum power generated by wind generators corresponds to March, and the minimum power to August.

So, if we compare the power generated by ten wind generators and the power consumption of the village of Krasnaya Presnya, Kostanay region, we get that the wind generators fully cover the needs this locality (Fig. 2)

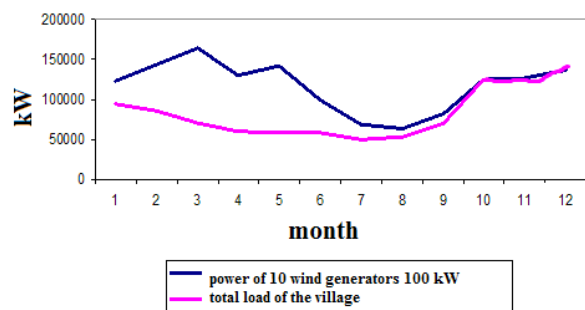


Figure 2 – Schedule of capacities of 10 wind generators of 100 kW and the total load of the settlement

However, when calculating the power of wind turbines, the average wind speed was used. Therefore, to ensure uninterrupted power supply to the settlement, for an autonomous energy system, we will use solar photovoltaic panels (PVP).

The choice of power of solar panels is based on geographical location of the settlement. In the calculation for the region were analyzed statistics on solar activity over an extended period. On based on the data obtained, the average capacities were determined solar flux per square meter of the earth’s surface [5].

Based on the calculations, the power of solar panels with an area of 50 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>, 200 m<sup>2</sup> built graphs of possible capacities for this settlement fig. 3.

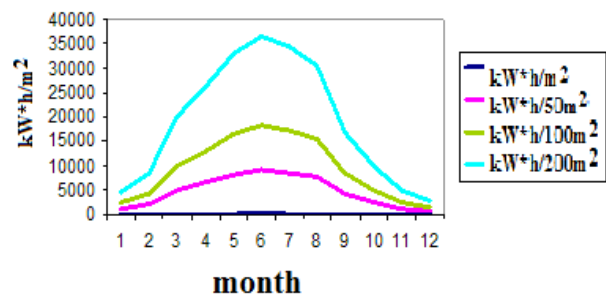


Figure 3 – Power of PVP of various areas

The graphs of the generated capacities of wind turbines and PVP show that their sharing in an autonomous power system can solve the problem stabilization of renewable energy flows (Fig. 4).

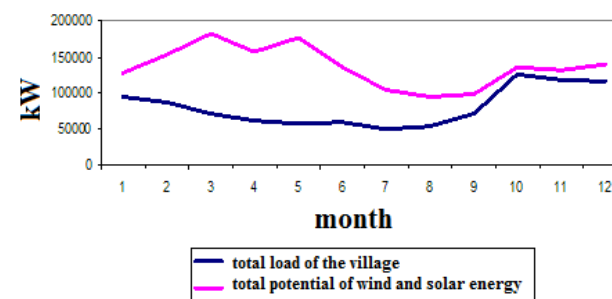


Figure 4 – The total load of the wind and solar potential for the year in relation to the load of the settlement

In conclusion, we would like to note that the tasks presented in the article have serious under-investigation and require further comprehensive study.

## REFERENCES

- 1 Hou Yu, Vidu Ruxandra, Stroeve Pieter, Solar Energy Storage Methods [Text] / Hou Yu, Vidu Ruxandra, Stroeve Pieter // Industrial & engineering chemistry research, Vol. 50, N 15, 2017, – p. 8954–8964.
- 2 Renewables 2013. Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. www.ren21.net.
- 3 Ampelli C., Genovese C., Passalacqua R., Perathoner S., Centi G., The use of a solar photoelectrochemical reactor for sustainable production of energy [Text] / Ampelli C., Genovese C., Passalacqua R.; Perathoner, S., Centi G. // THEORETICAL FOUNDATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, Vol. 46. – N 6. – 2012. – P. 651–657.
- 4 Sysoev V. K., Pichkhadze K. M., Feldman L. I., Arapov, E. A.; Luzyanin A. S., Concept development for a space solar power station [Text] / Sysoev V. K., Pichkhadze K. M., Feldman L. I., Arapov E. A., Luzyanin, A. S. // SOLAR SYSTEM RESEARCH. – Vol. 46. – N 7. – 2012. – P. 548–554.
- 5 Tleuov A. Kh. Nonconventional energy sources: Study guide [Text] / Tleuov A. Kh. – Astana : Foliant, 2009. – 248 p.
- 6 Stychinsky, Z. A., Voropay, N. I. Renewable energy sources : theoretical foundations, technologies, technical characteristics, economics [Text] /

Stychinsky Z. A., Voropay N. I. // Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg 2010. – 223 p.

7 **Chetoshnikova, L.M.**, Nontraditional Renewable energy sources [Text] / L. M. Chetoshnikova // Study Guide – Chelyabinsk SUSU Publishing Center 2010. – 69 p.

8 Renewable energy statistics, July 2016 // Eurostat Statistics Explained. [Electronic resource]. – [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_en...](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_en...) (accessed: 8 June 2017).

Material received on 04.06.20.

*Т. И. Глуценко<sup>1</sup>, Т. В. Бедыч<sup>2</sup>*

### **Жел энергетикалық қондырғылардың қуатын тұрақтандыру**

<sup>1</sup>Аграрно-техникалық институты,

А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті,  
Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>Инженерлік-технологиялық факультеті,

Мыржакып Дулатов атындағы  
Қостанай инженерлік-экономикалық университеті,  
Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*Т. Глуценко<sup>1</sup>, Т. Бедыч<sup>2</sup>*

### **Стабилизация мощности ветроэнергетических установок**

<sup>1</sup>Аграрно-технический институт,

Костанайский государственный университет  
имени А. Байтұрсынова,  
г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>Инженерно-технологический факультет,

Костанайский инженерно-экономический университет  
имени М. Дулатова,  
г. Костанай, 110000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Авторлар қоршаған ортаны, энергия мен энергияны үнемдеуді және тұтынушылардың тәуелсіздігін дәстүрлі электрмен жабдықтау жүйесінен қорғауға бағытталған ауылдық жерлерде автономды электрэнергиялық жүйелерін пайдаланудың талдауы мен алғышарттарын ұсынады. Материал жаңартылатын энергияны пайдаланудың әлемдік тәжірибесі мен қазіргі тенденцияларға*

*негізделген. Мақала Солтүстік Қазақстанға қолданылатын автономды электрэнергиялық жүйесінде жел мен күн энергиясын пайдалануды негіздейді. Жел электр станциялары мен фотоэлектрлік түрлендіргіштердің бірлескен қолданылуы қарастырылады, бұл жаңартылатын энергия көздерінен энергия ағынын әр түрлі биіктіктер мен төмен деңгейлермен тұрақтандыруға мүмкіндік береді, өйткені жел энергиясы қыста және жазда басым болады. Солтүстік Қазақстан жағдайында автономды электрэнергиясымен жабдықтау жүйесіне күн және жел энергиясын қосымша пайдалану көрсетілген, бұл жаңартылатын энергияның негізгі жетіспеушілігін – уақытында тұрақсыздықты жояды. Жел электр станциялары шығаратын қуаттылықтың жылдық графигі және фотоэлектрлік түрлендіргіштің қуатының графигі келтірілген. Автономды электрэнергиялық станциясының жалпы қуаттылығына Қостанай облысындағы елді мекендердің жүктеме кестесімен салыстыру жасалады, бұл жаңартылатын энергия көздерінен автономды электрэнергиялық жүйесін пайдалану мүмкіндігін қамтамасыз етеді, осылайша елді мекеннің энергетикалық автономиясын қамтамасыз етеді.*

*Авторами приведен анализ и предпосылки использования автономных электроэнергетических систем в сельской местности, направленный на охрану окружающей среды, энергоресурсосбережение и независимость потребителей от традиционной системы электроснабжения. Материал опирается на мировой опыт использования возобновляемой энергии и современные тенденции. В статье обосновано использование энергии ветра и энергии Солнца в автономной электроэнергетической системе применительно к Северному Казахстану. Рассмотрено совместное использование ветроэнергетических установок и фотоэлектрических преобразователей, позволяющее стабилизировать потоки энергии от возобновляемых источников энергии с различными годовыми максимумами и минимумами, так как в зимний период преобладает ветровая энергия, а в летний период – солнечная. Показано взаимодополняющее использование энергии солнца и энергии ветра для автономной системы электроснабжения в условиях Северного Казахстана, что позволяет устранить основной недостаток возобновляемой энергии – нестабильность во времени. Приведены годовые графики генерируемой мощности ветроэнергетическими установками и графики мощности*

*фотоэлектрических преобразователей. Приведено сравнение суммарной мощности автономной электроэнергетической установки с графиком нагрузки населенного пункта Костанайской области, доказывающее возможность применения автономной электроэнергетической системы от возобновляемых источников энергии, тем самым обеспечивая энергетическую автономность населенного пункта.*

ГРНТИ 44.31.35

**А. М. Достияров<sup>1</sup>, С. Б. Садыкова<sup>2</sup>,  
А. К. Яманбекова<sup>3</sup>, Н. Р. Картджанов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор ВАК, Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>докторант, Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>докторант, Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>магистр, преподаватель, Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>dost51@mail.ru; <sup>2</sup>kundyzdy@mail.ru; <sup>3</sup>aiau\_talgar@mail.ru;

<sup>4</sup>nurlan-k-e@yandex.kz

## **ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ЗАКРУТКИ ВХОДНОГО ПОТОКА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

*В статье описываются экспериментальные исследования влияния угла установки лопаток завихрителя на структуру потока. Подробно описана экспериментальная установка и методика проведения эксперимента. Приводятся результаты исследования. Полученные данные анализируются. Определён оптимальный угол установки лопаток завихрителя и интенсивность турбулентности, а также скоростной градиент потока после него. Такие параметры потока обеспечивают улучшенное смесеобразование топливо-воздушной смеси.*

*Ключевые слова: турбулентность, интенсивность турбулентности, закрученный поток, термоанемометр, воздушная форсунка.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Турбулентность является самой распространённой и сложной разновидностью движения жидкости и газа. Для ее математического



описания и исследования, необходимо использование уравнения Навье-Стокса, которое не имеет общего решения, и поэтому в инженерной практике применяют экспериментальные или численные методы исследования [1]. По определению Т. Кармана: турбулентность – это неупорядоченное движение, которое в общем случае возникает в жидкостях, газообразных или капельных средах, когда они обтекают непроницаемые поверхности или же когда соседние друг с другом потоки одной и той же жидкости следуют рядом или проникают один в другой.

Турбулентное движение играет особую роль в процессах горения и смесеобразования в камерах сгорания газотурбинных двигателей (ГТД) и установок. Первые экспериментальные данные о влиянии турбулентности на распространение пламени были опубликованы Дамкёлером [2] для пламени в пропановоздушной смеси. Эти данные указывали на то, что скорость турбулентного распространения пламени является функцией скорости потока и не зависит от масштаба турбулентности. Многие из исследователей, в частности Карловиц [2] и Вестенберг [3], показали увеличение турбулентности в пламени.

В работах [4, 7] описано, что на образование оксидов азота в камерах сгорания ГТД влияет флуктуация топлива и окислителя, т.е. турбулентное смешивание пламени и степень кривизны потока. Из теории горения известно: для организации турбулентного горения необходимо предварительное перемешивание топливо-воздушной смеси (ТВС). Также из вышеприведенного определения Кармана можно предположить, что турбулентность потока является одной из основных функций образования ТВС.

Турбулентный поток характеризуется неупорядоченным движением частиц газа, при котором скорость в каждой точке потока меняется по направлению и по величине. Для турбулентного потока характерно наличие пульсаций скорости, давления, температуры и концентрации вещества. Молекулярный механизм передачи массы вещества интенсифицируется пульсациями и перемешиваниями отдельных объемов смеси [2, 5].

Одной из основных статистических характеристик турбулентности является ее интенсивность. В любой фиксированной точке турбулентного потока течение имеет скорость  $u = \bar{u} + u'$ , складывающуюся из двух составляющих:  $\bar{u}$  – среднюю, постоянную по времени, и  $u'$  – отклонение от средней скорости  $\bar{u}$ , которая называется пульсацией. Отношение среднеквадратичной пульсационной скорости к средней скорости течения, выражаемое обычно в %, называется интенсивностью турбулентности:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{u'^2}}{\bar{u}} \times 100\% \quad (1)$$

Основными приборами для измерения и исследования турбулентности являются термоанемометрический метод и доплеровский метод [6].

Этот параметр турбулентного потока зависит от многих переменных:

- линейной скорости потока;
- первого или второго коэффициента молекулярной вязкости;
- угловой скорости вращения;
- размера обтекаемого тела;
- от граничных условия (шероховатость) и т.д.

Из вышеприведенных исследований интенсивность турбулентности в закрученных потоках является актуальной важной характеристикой при проектировании устройств, для перемешивания топливовоздушной смеси.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе исследуется интенсивность турбулентности и скоростная характеристика потока воздуха внутри микромодульной воздушной форсунки (ММВФ) при различных углах установки лопаток входного завихрителя (Рис.1). ММВФ состоит из цилиндрического корпуса с внутренним диаметром  $D=46$  мм и длиной 150 мм, на входе которой установлен завихритель с восемью лопатками с одинаковыми углами поворота.

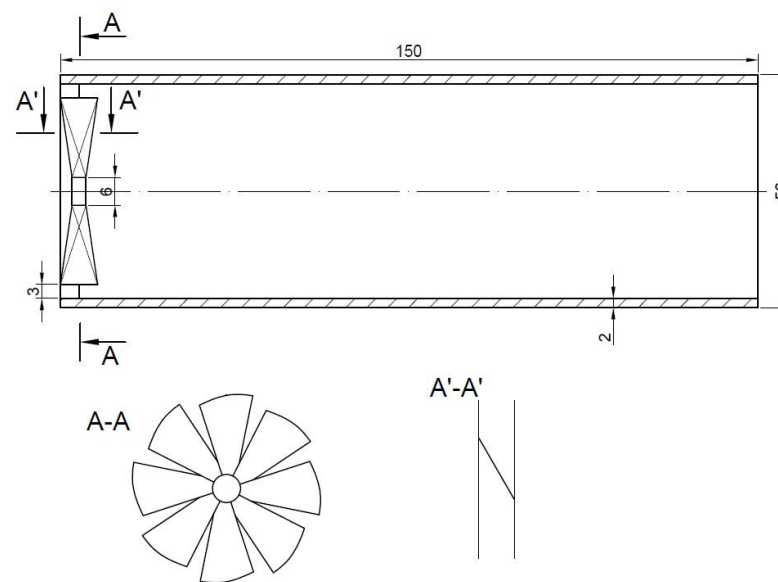


Рисунок 1 – Микромодульная воздушная форсунка

Эксперимент проводился на стенде, схема которой приведена на рисунке 2, состоящем из вентилятора, для подачи воздуха; аэродинамической трубы, на выходе которой установлены ММВФ с тарировочной трубкой (сопло Виташинского) и термоанемометра постоянной температуры. Чувствительный элемент термоанемометра – датчик из вольфрамовой нити.

В начале эксперимента проводилась тарировка термоанемометра при различных скоростях потока на выходе из сопла Виташинского перед ММВФ. Для этого в центре сопла устанавливалась трубка Пито, по значению которой при различной производительности вентилятора определялась зависимость  $E=f(u)$ .

Далее с помощью термоанемометра замерялись показания ММВФ в различных точках и рассчитывалась интенсивность турбулентности по формуле (2). В качестве точек замеров были выбраны калибры 0; 0,5; 1 и 1,5 с шагом 5 мм по поперечному сечению ММВФ. В качестве одного калибра принимался внутренний диаметр микромодуля, а шаги горизонтально двигались по отношению к продольной оси микромодуля.

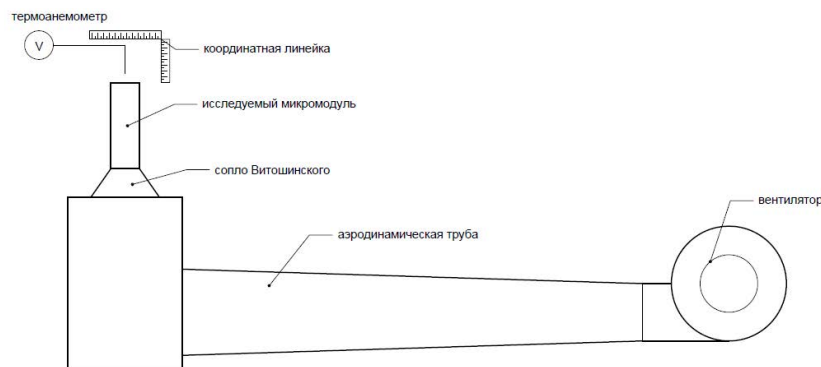


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

По показаниям термоанемометра в исследуемых точках интенсивность турбулентности рассчитывалась по формуле [1, 6]

$$\varepsilon = \frac{4\bar{E}(\bar{e} - e_0)}{\bar{E}^2 - \bar{E}_0^2} \times 100\% \quad (2)$$

где,  $\bar{E}_0$  – напряжение моста при отсутствии потока в трубе, В;

$\bar{E}$  – постоянная составляющая напряжения моста при потоке в трубе, В;

$\bar{e}$  – переменная (пульсация) составляющая напряжения моста при потоке в трубе, В;

$e_0$  – системная погрешность, В.

Средняя скорость потока  $\bar{u}$  выбранных точек внутри микромодуля определялась на основе функции  $E=f(u)$  по выражению

$$\bar{u} = \left( \frac{\bar{E}^2 - A}{B} \right)^2 \quad (3)$$

где  $A, B$  – коэффициенты тарировочной зависимости, которые определяются из графика  $E=f(u)$  [1, 6].

Результаты определения интенсивности турбулентности и средней скорости потока в выбранных точках по формулам (2) и (3) приведены на рисунках 3–10.

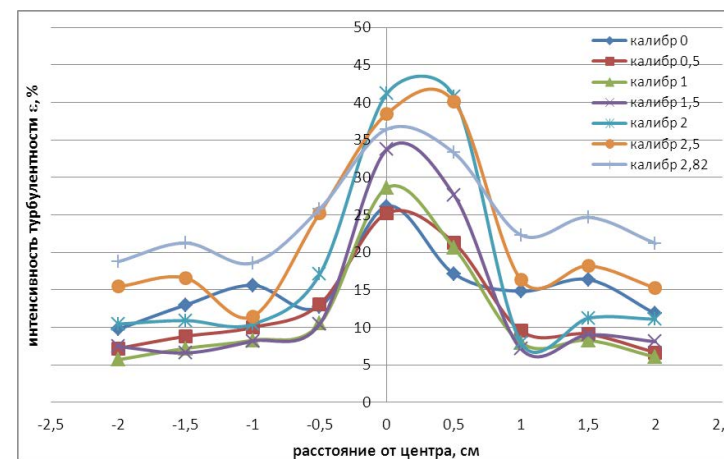


Рисунок 3 – Интенсивность турбулентности внутри микромодуля при  $\beta=20^\circ$

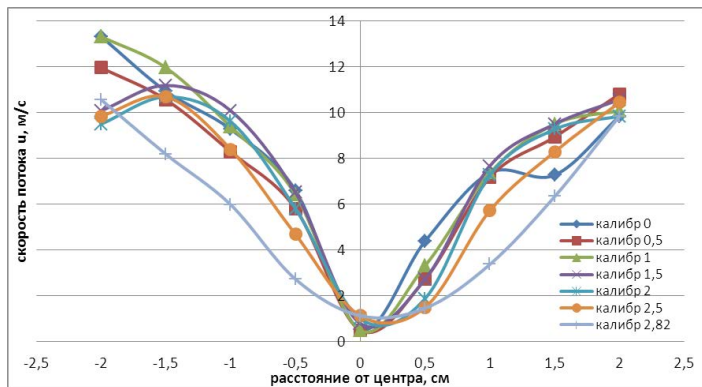


Рисунок 4 – Скорость потока внутри микро модуля при  $\beta=20^\circ$

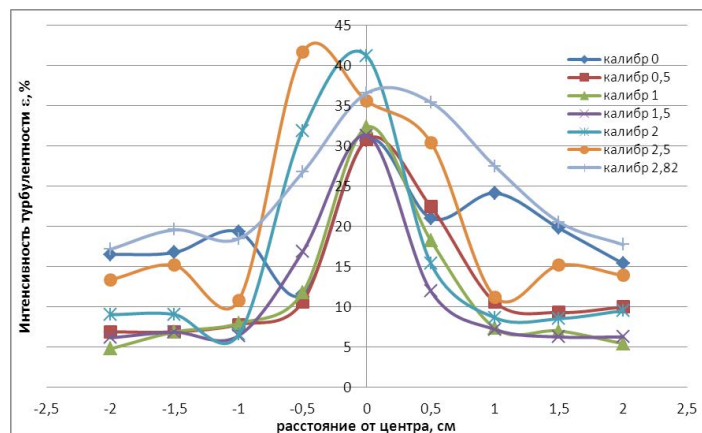


Рисунок 5 – Интенсивность турбулентности внутри микро модуля при  $\beta=30^\circ$

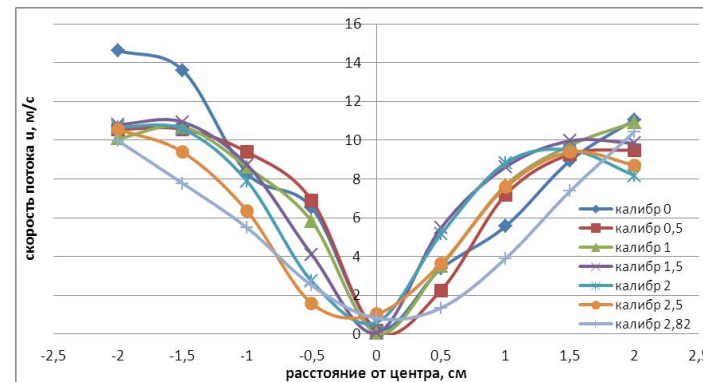


Рисунок 6 – Скорость потока внутри микро модуля при  $\beta=30^\circ$

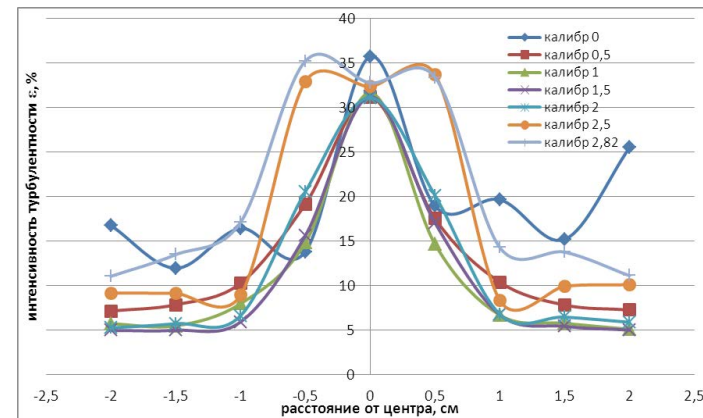


Рисунок 7 – Интенсивность турбулентности внутри микро модуля при  $\beta=40^\circ$

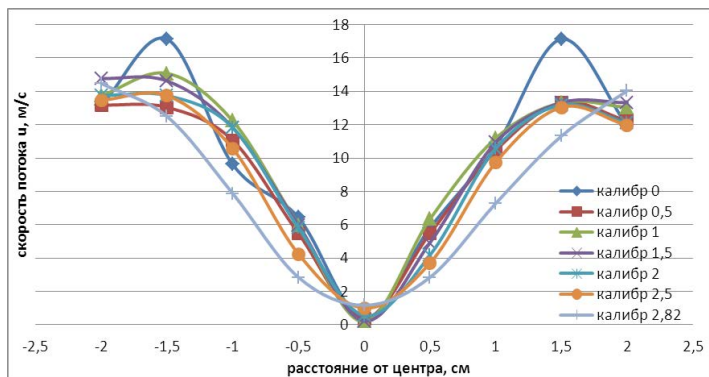


Рисунок 8 – Скорость потока внутри микромодуля при  $\beta=40^\circ$

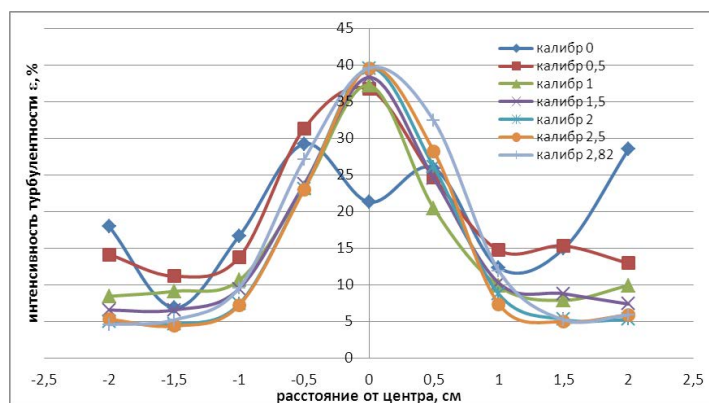


Рисунок 9 – Интенсивность турбулентности внутри микромодуля при  $\beta=60^\circ$

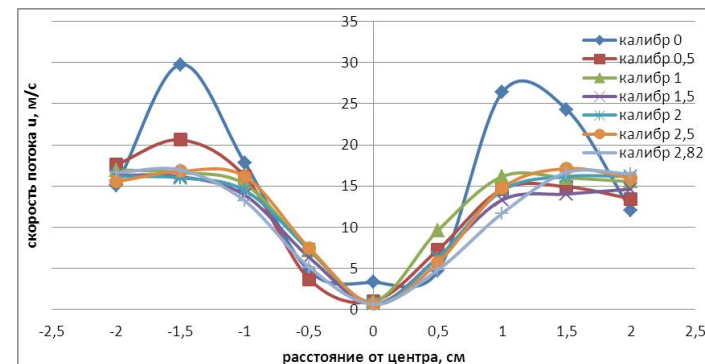


Рисунок 10 – Скорость потока внутри микромодуля при  $\beta=60^\circ$

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что максимальная интенсивность турбулентности ( $\epsilon$ ) имеет место в центре микромодуля (ММ) по его оси во всех углах установки завихрителей. А в разрезе поперечного сечения микромодуля интенсивность уменьшается от центра к стенке. Это обусловлено тем, что при закрученном потоке из-за центробежных сил течение концентрируется на периферии и в центре микромодуля образуется зона с пониженной средней скоростью. Как видно из выражения (2), интенсивность характеризуется пульсацией средней скорости, и поэтому набегающие потоки от центра к стенке и наоборот в центре создают высокие пульсации. К тому же зависимость интенсивности турбулентности обратна пропорциональна средней скорости движения. В итоге слой, который на периферии имеет высокую среднюю скорость, обладает более низкой интенсивностью турбулентности по сравнению с центром.

Также средняя  $\epsilon$  по продольному сечению повышается к выходу микромодуля, что демонстрируют точки замеров на различных калибрах. Подача топлива обычно осуществляется ближе к регистру на входе ММ – приблизительно на расстоянии до одного калибра (46 мм). Поэтому турбулентность в этой зоне будет играть определяющую роль для формирования топливно-воздушной смеси (ТВС).

В свою очередь интенсивность турбулентности и скорость потока зависят от угла установки лопаток завихрителей. Как видно из графика, при  $\beta=20^\circ$   $\epsilon$  в центре микромодуля при калибрах 0; 0,5; 1 составляет 25–28 % и снижается по направлению к стенке ММ до 5 %. Максимальная скорость потока зафиксирована на периферии и снижается к центру микромодуля до 0,2–0,4 м/с. Это означает что поток воздуха сконцентрирован на периферии.

При  $\beta=30^\circ$  диапазон интенсивности турбулентности на тех же точках достигает 30–32 %. На периферии в интервале от 4,79 до 10 %. Здесь при  $\beta=30^\circ$  скорость потока также сконцентрирована на внутренней периферии микро модуля, но толщина слоя с высокой скоростью увеличивается.

С ростом угла установки лопаток  $\beta$  в центральной части микро модуля  $\epsilon$  растет, при  $\beta=40^\circ$  и  $\beta=60^\circ$  средняя  $\epsilon$  в центре составляет 34 % и 37 % соответственно. Кривые скорости потока показывают, что с увеличением угла осевая зона с низкой скоростью потока уменьшается на фоне роста толщины периферийного слоя с высокой скоростью. Также при  $\beta \geq 40^\circ$  наблюдается относительно равномерная турбулентность на начальных калибрах, по сравнению с углом  $\beta \leq 40^\circ$ . Это объясняется тем, что при низких углах установки завихрителей идет сильная радиальная закрутка потока и снижение осевой составляющей скорости потока.

### ВЫВОДЫ

В связи с вышеизложенным за оптимальный угол установки лопаток завихрителя принят  $\beta \geq 40^\circ$ . В связи с тем, что в центральной части ММ интенсивность турбулентности максимальная, целесообразнее будет подавать топливо в зону от 0,5 до 1 калибра для создания ТВС. Направление подачи топлива рекомендуется от центра к периферии, так как основной поток воздуха сконцентрирован вблизи стенки микро модуля. Также при больших углах установки лопаток завихрителя обеспечивается безударное обтекание лопаток воздушным потоком, что уменьшает аэродинамическое сопротивление микро модуля.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Брэдшоу, П.** Введение в турбулентность и ее измерение. – М. : Мир, 1974. – 279 с.
- 2 **Гупта, А. и др.** Закрученные потоки : Пер. с англ. / Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. – М. : Мир, 1987.
- 3 **Lilley D. G., Int. J.** Computers and Fluids. 1976. – 4. – P. 45.
- 4 **Лавров, Н. В. и др.** Процессы горения и защита окружающей среды – М. : Металлургия, 1981. – 240 с.
- 5 **Хнице, О. И.** Турбулентность. – М. : Государственное изд-во физико-математической литературы, 1963. – 681 с.
- 6 **Смоляков, А. В., Ткаченко, В. М.** Измерение турбулентных пульсаций. – Л. : Энергия, 1980. – 264 с.

7 **Достияров, А. М., Достиярова, А. М., Садыкова, С. Б., Картджанов, Н. Р.** Микро модульные воздушные форсунки для кольцевой камеры сгорания ГТД / Вестник КазНУТУ. – № 6 (2019). – С. 451–456.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*А. М. Достияров<sup>1</sup>, С. Б. Садыкова<sup>2</sup>, А. К. Яманбекова<sup>3</sup>, Н. Р. Картджанов<sup>4</sup>*  
**Кіріс ағынының бұралу бұрышының турбуленттілік интенсивтілігіне әсерін изотермиялық зерттеу**

<sup>1,2,3</sup>Жылуэнергетика және жылу техника институты,

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика

және байланыс университеті,

Алматы, 050013, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Көлік-энергетика факультеті,

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. M. Dostiyarov<sup>1</sup>, S. B. Sadykova<sup>2</sup>, A. K. Yamanbekova<sup>3</sup>, N. R. Kartjanov<sup>4</sup>*  
**Isothermal study of the impact of inlet flow turn angle for the turbulence intensity**

<sup>1,2,3</sup>Institute of Heat Power Engineering and Heat Engineering,

G. Daukeev Almaty University of Power

Engineering and Telecommunications,

Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Faculty of Transport and Energy,

L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада ағын құрылымына құйындақыш қалақшаларының орнату бұрышының әсерін эксперименттік зерттеулер сипатталады. Эксперименталды қондырғы және эксперимент жүргізу әдістемесі толық сипатталған. Зерттеу нәтижелері келтіріледі. Алынған деректер анализденеді. Құйындатқыш қалақшаларының оптималды бұрышы және одан кейінгі ағынның турбуленттілік интенсивтілігі мен жылдамдық градиенті анықталған. Мұндай ағын параметрлері отын ауа қоспасының жақсы араласуын қамтамасыз етеді.*

*The article describes the experimental studies of the influence of the swirler blades position angle to the flow structure. The experimental equipment is described in detail together with the experimental procedure. The results of the study are presented. The received data is analyzed. The optimal angle of the blades position of the swirler and the intensity of turbulence are determined, the velocity gradient of the flow after it is also found. Such flow parameters provide improved the mixture formation of the fuel-air mixture.*

ГРНТИ 44.31.31

**А. М. Достияров<sup>1</sup>, Д. Р. Умышев<sup>2</sup>,  
А. М. Достиярова<sup>3</sup>, Г. С. Катранова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>PhD, асоц. профессор, Институт промышленной автоматизации и цифровизации, Satbayev University, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, Факультет автоматизации и телекоммуникации, Казахская академия транспорта и коммуникации, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>докторант, Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>dost51@mail.ru; <sup>2</sup>umishev\_d@mail.ru; <sup>3</sup>a.dostiyarova@mail.ru;

<sup>4</sup>Isister@mail.ru

### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОДАЧИ ГАЗА НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ЗА УДОБООБТЕКАЕМЫМИ ПРОФИЛЯМИ**

*В статье приведены разработки высокоэффективных фронтальных устройств камер сгорания ГТУ с микрофакельным сжиганием с использованием удобообтекаемых профилей. В статье представлены результаты численного моделирования влияния различных вариантов подачи топлива на процессы горения за турбины профилями.*

*При исследовании использовалась программа ANSYS Fluent.*

*Ключевые слова: микрофакельное сжигание, камеры сгорания, ГТУ.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Для разработки высокоэффективных фронтальных устройств камер сгорания ГТУ с микрофакельным сжиганием могут быть использованы удобообтекаемые профили. Возможности их использования ранее рассматривались в работах [1, 2].

В статье представлены результаты численного моделирования влияния различных вариантов подачи топлива на процессы горения за турбины профилями. В статье рассматривалось три варианта подачи топлива – в первом варианте (а) топливо подается на широкую сторону профиля, во втором

варианте (б) топлива распыляется непосредственно в рециркуляционную зону образующуюся между накладкой и профилями, в третьем варианте (в) топливо распылялось с выпуклой (спинки) части профиля.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходя из проведенного анализа можно сделать вывод, что профили лопаток имеют достаточно высокие стабилизационные показатели. Наилучшими показателями обладает вариант подачи топлива со спинки турбинного профиля. Данный вариант обеспечивает минимальные концентрации оксидов азота, при всех прочих равных показателях.

При исследовании использовалась программа ANSYS Fluent. При построении моделей было предложено, что топливо будет поступать на широкую часть (спинку) турбинного профиля. В данной статье рассмотрены три способа подачи топлива, представленные на рисунке 2. Проведенные экспериментальные исследования на угольковых стабилизаторах показывают [3–13], что способ подачи топлива играет значительную роль в формировании рециркуляционной зоны, соответственно и обеспечении стабилизации пламени.

Авторы рассмотрели три варианта подачи топлива. В первом варианте топливо подается на широкую сторону (спинку) профиля, во втором варианте топливо распыляется непосредственно в рециркуляционную зону образующуюся между накладкой и профилями, в третьем варианте топливо распылялось со спинки.

### Общие данные о процессе моделирования

На рисунке 1 представлен изометрический вид на область моделирования.

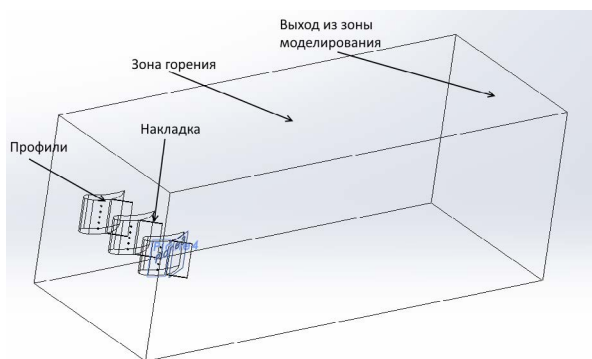


Рисунок 1 – Изометрический вид области моделирования

Область моделирования состоит из трех профилей лопаток, причем все профили участвуют в процессе горения. Профили снабжены регулируемыми (в данной статье регулировка не рассматривалась) накладками, угол которых был равен 45° от касательной к выпуклой (спинке) стороне профиля. Угол был выбран исходя из прошлых результатов моделирования и [3–12]. Начальные параметры представлены в таблице 1.

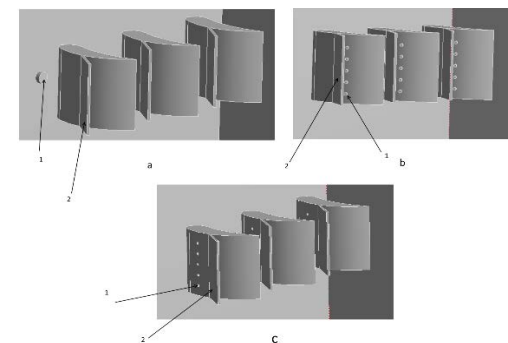
Таблица 1 – Начальные параметры

Расход топлива, кг/ч	Скорость воздуха, м/с (бралась согласно экспериментальной установке)	$\phi$ , коэффициент избытка топлива по [1]	Начальная температура окислителя (воздуха)/топлива, К	Количество тетраэдрических элементов в моделируемой области
1	10	0,06	300	200000

При моделировании использовалась модель турбулентности k- $\epsilon$  realizable, которая согласно [12] является наиболее оптимальным решением.

В виду того, что в статье рассматривалось лишь влияние подачи топлива, при моделировании скорость и значение расхода топлива не изменялись. Избыток топлива (воздуха) рассчитывался согласно [3].

На рисунке 2 представлены рассмотренные варианты подачи топлива. В первом варианте (а) топливо подается на широкую сторону профиля, во втором варианте (б) топливо распыляется непосредственно в рециркуляционную зону, образующуюся между накладкой и профилями, в третьем варианте (в) топливо распылялось с выпуклой (спинки) части профиля.

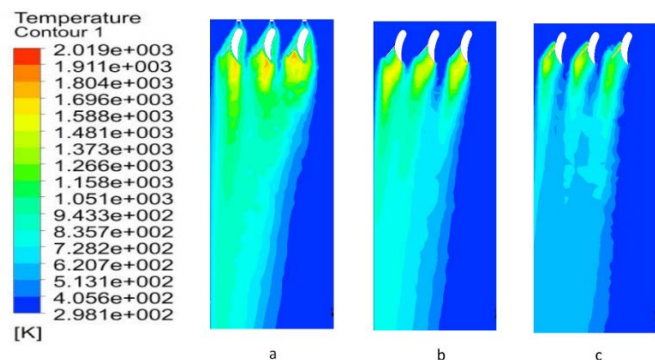


а – на турбинный профиль, б – в рециркуляционную зону, в – со спинки профиля  
1 – сопла, 2 – накладка

Рисунок 2 – Варианты подачи топлива

**Результаты**

Температура. Контуры температур в зависимости от вариантов подачи топлива представлены на рисунке 2. При подаче топлива на турбинный профиль (вариант а) имеется высокотемпературная зона, образующая за турбинным профилем, где сгорает основная часть топлива, причем по сравнению с другими вариантами подачи топлива, температура выше. Наименьшие температуры наблюдаются при подаче топлива со спинки турбинного профиля (вариант с), в виду того, что топливо реагирует раньше с окислителем, чем в других вариантах, соответственно выгорая раньше. Заметно, что правый профиль подвержен наиболее высоким температурам (вариант а). Это происходит за счет того, что с левой стороны профиля не возмущений. при подаче в зону рециркуляции сама зона рециркуляции выталкивается из внутреннего пространства между накладкой и профилем за счет дополнительно создаваемой силы потока топлива. Из рисунка можно сделать вывод, что при вариантах «а» и «с» имеется максимальная температурная нагрузка на накладку, а при варианте «б» она несколько ниже в виду того, что высокотемпературная зона находится лишь с одной стороны.



а – вариант подачи на профиль,

б – вариант подачи в пространство между профилем и накладкой,

с – вариант подачи со спинки

Рисунок 2 – Температурные контуры в зависимости от избытка варианта подачи топлива

Таблица 2 – Результаты численного моделирования

Вариант подачи топлива	а	б	с
Концентрация NOx, ppm	6,8	3,5	1,3

Температура на выходе из моделируемой области, К	358	360	358
Концентрация топлива на выходе, г/м <sup>3</sup>	0,058	0,059	0,056
Осевая скорость на выходе, м/с	11,8	12	11,93

Концентрация оксидов азота (NOx). Наиболее интересным выглядят результаты концентрации оксидов азота на выходе из моделируемой области. Как видно из таблицы 1, концентрация топлива максимальна при варианте подачи а. Это объясняется тем, что топливо с воздухом достаточно «поздно» смешивается, по сравнению с другими вариантами. Поэтому концентрация топлива в рециркуляционной зоне достаточно высока, что также можно видеть на рисунке 2 по высоким температурам варианта «а». Непосредственная подача топлива в зону рециркуляции снижает концентрацию оксидов азота за счет более равномерной подачи топлива (см. рисунок 1). Очевидно, что дробление потока топлива на более мелкие приводит к более быстрому выгоранию, и снижению локальной температуры, что является основным источником оксидов азота.

Вариант «с» является наиболее приемлемым с точки зрения снижения оксидов азота. Равномерная подача топлива вдоль спинки профиля приводит к смешению и горению топлива до зоны рециркуляции, что снижает его концентрацию. Снижение концентрации топлива в зоне рециркуляции приводит к снижению температуры, соответственно и образования оксидов азота.

**ВЫВОДЫ**

Профили лопаток имеют достаточно высокие стабилизационные показатели. Наилучшими показателями обладает вариант подачи топлива со спинки турбинного профиля. Данный вариант обеспечивает минимальные концентрации оксидов азота, при всех прочих равных показателях.

Измерение полей температуры, скоростей и концентрации топлива на выходе из зоны моделирования показывает близкие результаты.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Пчелкин, Ю. М.** Камеры сгорания газотурбинных двигателей. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.



2 **Достияров, А. М.** Разработка топливосжигающих устройств с микрофакельным горением и методики их расчета: дис. ... док. техн. наук: 05.14.04. – Алматы : КазНИИ Энергетики им. Чокина, 2000. – 237 с.

3 **Достияров, А. М., Умышев, Д. Р., Катранова, Г. С.** Численное моделирование процессов горения за профилями лопаток. В сб. материалов// Матер. 8-ой международ. науч. – прак. конф. «Академическая наука – проблемы и достижения». – North Charleston; USA, 2017. – С. 82–87.

4 **Умышев Д. Р., Достияров А. М., Туманов М. Е., Тютеебаева Г. М.,** Результаты исследования угловых стабилизаторов для камер сгорания// Сбор. матер. 8-ой международ. научн. – прак. конф. «Advances in Science and Technology». – М. : Актуальность. РФ, 2017. – С. 159–160.

5 **Dias R. Umyshev, Abay M. Dostiyarov, Musagul Y. Tumanov, Quiwang Wang.** Experimental investigation of v-gutter flameholders// Thermal Science. – 2017. Vol.21, № 2. – P. 1011–1019.

6 **Umyshev, D. R., Dostiyarov, A. M., Tyutebayeva, G. M.** Experimental investigation of the management of NOx emissions and their dependence on different types of fuel supply // Espacios. – 2017. – Vol.38, № 24. – P. 17.

7 **Достияров, А. М., Туманов, М. Е., Умышев, Д. Р.** Численное моделирование процессов горения в газовой микрофакельной горелке// Матер. форума с международным участием «Неделя науки СПбПУ». – Санкт-Петербург : СПбПУ, 2015. – С. 174–176.

8 **Достияров, А. М., Туманов, М. Е., Умышев, Д. Р.** Экспериментальное исследование горелок с микрофакельными насадками // Вестник КазНТУ. – 2016. – № 1. – С. 174–182.

9 **Достияров, А. М., Тютеебаева, Г. М., Умышев, Д. Р.** Результаты исследования угловых стабилизаторов для камер сгорания ГТД // Вестник ПГУ. – 2016. – № 1. – С. 68–80.

10 **Достияров, А. М.** Разработка топливосжигающих устройств с микрофакельным горением и методики их расчета: дис. ... док. техн. наук: 05.14.04. – Алматы : КазНИИ Энергетики им. Чокина, 2000. – 237 с.

11 **Достияров, А. М., Умышев, Д. Р., Мусабеков, Р. А., Яманбекова, А. К.** Изучение влияния выходного регистра на процессы горения в воздушной форсунке стабилизаторе. Ежемесячный международный научный журнал «European multi science journal». – Szabadság út 27, Budaörs, Венгрия, 2017. – С. 73–77.

12 ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide: «ANSYS» <http://ansys.com> 2009.

13 **Лефевр, А.** Процессы в камерах сгорания ГТД. – М. : Изд-во Мир, 1986. – 566 с.

14 **Umyshev et.al.** Application of semi perforated v-gutter flameholders in heat-generating systems for autonomous building heating// International journal of mechanics and mechanotronics. – 2016. – Vol. 16. – № 6. – P. 63–69.

15 **Dias R. Umyshev, Abay M. Dostiyarov, Musagul Y. Tumanov, Galia M. Tuytebayeva.** Experimental investigation of recirculation zones behind v-gutter type flameholders// International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Vol. 8. – № 4. – P. 27369–27380.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*А. М. Достияров<sup>1</sup>, Д. Р. Умышев<sup>2</sup>, А. М. Достиярова<sup>3</sup>, Г. С. Катранова<sup>4</sup>*

**Ыңғайлы ағатын профильдер үшін жану процестеріне газ берудің әртүрлі нұсқаларының әсері**

<sup>1,4</sup>Жылу энергетика және жылу техникасы институты, Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты, Satbayev University, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>Автоматтандыру және телекоммуникация факультеті, Қазақ көлік және коммуникация академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*А. М. Dostiyarov<sup>1</sup>, D. R. Umyshev<sup>2</sup>, A. M. Dostiyarova<sup>3</sup>, G. S. Katranova<sup>4</sup>*

**The influence of different variants of gas supply to the combustion processes over aerodynamically shaped profiles**

<sup>1,4</sup>Institute of Heat Power Engineering and Heat Engineering, G. Daukeev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of industrial automation and digitalization, Satbayev University, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Faculty of Automation and Telecommunications, Kazakh Academy of Transport and Communication, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада ыңғайлы ағатын профильдерді пайдалана отырып, микрофакельді өртеу арқылы ГТҚ жану камераларының жоғары тиімді фронт құрылғыларын әзірлеу келтірілген. Мақалада турбина профильдерінің жану процестеріне отын берудің түрлі нұсқаларының әсерін сандық моделдеу нәтижелері берілген.*

*Зерттеу барысында ANSYS Fluent бағдарламасы қолданылды.*

*The article describes the development of the front devices of the gas turbine combustion chamber with combustion microflare using aerodynamically shaped profiles. The article presents the results of numerical simulation of the influence of different variants of fuel supply to the combustion processes for turbine airfoils.*

*In the study we used the program ANSYS Fluent.*

ГРНТИ 61.35.09

**М. А. Елубай<sup>1</sup>, С. К. Бухарбаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.х.н., ассоц. профессор, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистрант, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>madik\_chimik@mail.ru; <sup>2</sup>bkserik@mail.ru

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КАЧЕСТВЕ  
СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛА**

*В данной статье рассмотрены актуальные вопросы возможности использования золошлаковых отходов, образующихся при сгорании твердого топлива энергостанций. Показан химический состав золы, как основного продукта получаемого при сжигании топлива. Приведены данные об ежегодных объемах золы и золошлаковых смесей получаемых при сжигании углей теплоэлектростанций на территории Казахстана. Рассмотрены основные причины недостаточного использования золошлаков в народном хозяйстве. Приведены возможности повторного использования золы в качестве сырья и материала для различных видов производств.*

*Ключевые слова: отходы, золошлаки, ТЭС, уголь, дымовые газы, топливно-энергетический комплекс.*

**ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день основными техногенными отходами ТЭС являются золошлаки и дымовые газы. Для использования золы и шлаков в качестве сырья и материала, для безопасного складирования и использования золошлаков в хозяйстве, в различных отраслях промышленности необходимо иметь основную информацию по их свойствам и характеристике: химический состав, физические свойства, минералогический состав, физико-химические свойства, экологические характеристики, в том числе такие, как радиоактивность и токсичность.

Угольная промышленность остается главной в топливно-энергетическом комплексе Казахстана. По подтвержденным запасам угля Казахстан занимает

место в первой мировой десятке, а их доля в общемировом объеме запасов этой категории составляет 4 %. Запасы каменного угля в республике оцениваются в 75 млрд.т. Республика Казахстан также входит в десятку крупнейших производителей угля в мире [1].

В Республике Казахстан ежегодный выход золы и золошлаковых смесей при сжигании углей составляет около 19 млн.т, а в золоотвалах к настоящему времени накоплено более 300 млн.т отходов [1]. Хотя зола в основной массе улавливается различными фильтрами, все же в атмосферу в виде выбросов ТЭС ежегодно поступает около 250 млн. т. мелкодисперсных аэрозолей.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным видом топливно-энергетических ресурсов Казахстана является уголь, поставки которого осуществляются в основном из Экибастузского, Карагандинского месторождений. В Казахстане в настоящее время работают 32 тепловые электростанции на твердом топливе. Имеются данные, что тепловые электростанции в 2–4 раза сильнее загрязняют среду радиоактивными веществами, чем АЭС такой же мощности [2]. В выбросах ТЭС содержится значительное количество металлов и их соединений. Угли содержат от 0,2 до десятков процентов серы в основном в виде пирита, сульфата, закисного железа и гипса. Для уменьшения концентрации серы в продуктах сгорания топлив возможны два пути: уменьшение содержания серы в топливе до его сжигания и очистка дымовых газов от окислов серы [3]. Имеющиеся способы улавливания серы при сжигании топлива далеко не всегда используются из-за сложности и дороговизны. Поэтому значительное количество ее поступает и, по-видимому, будет поступать в ближайшей перспективе в окружающую среду. Серьезные экологические проблемы связаны с твердыми отходами ТЭС – золой и шлаками.

Зола – продукт сжигания топлива, который выносятся дымовыми газами из топки котла и улавливается золоуловителями. Шлак – материал, который скапливается по мере сгорания топлива в шлакоборниках. Зола в основном представлена фракцией 0,01–0,1 мм при максимальном размере частиц не более 1–2 мм. Шлак в основном представлен фракциями 0,1–20 мм при максимальном размере частиц 40–60 мм и минимальном 0,04 мм. Зола представляет собой мелкодисперсный минеральный порошок от светло-серого до темно-серого цвета, шлак имеет аналогичный цвет, но отличается от золы большей крупностью [2].

В таблице 1 приведен усредненный химический состав (макрокомпоненты) золошлаковых отходов, полученных при сжигании углей некоторых месторождений на ТЭС Казахстана [3].

Таблица 1 – Химический состав золы (макрокомпоненты)

Наименование ТЭС	Содержание, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Экибастузская ГРЭС-1	52,3	25,7	5,2	1,5	0,4	-	1,6	0,1	0,6
Экибастузская ГРЭС-2	57	22,3	2,8	1,6	0,9	-	1,7	0,3	0,2
Павлодарская ТЭС	54,1	28,3	7,4	1,1	0,5	1,4	0,6	0,4	0,2
Карагандинская ТЭС	60,2	25,5	5,8	3,6	1,5	0,9	0,8	1,6	0,2

Преобладающими минералами в золошлаковых материалах ТЭС являются силикаты. Прежде всего, это мета- и ортосиликаты, а также алюминаты, ферриты, алюмоферриты, дегитратированные глинистые минералы; в значительных количествах присутствуют оксиды, например, варц, корунд, глинозем, оксиды кальция, магния и др. В золоотвалах в результате гидрохимических процессов могут возникать вторичные минералы, например, кальцит, портландит, гидроксиды железа и др [4].

### ВЫВОДЫ

Зола и шлаки представляют собой сложную систему, свойства которой зависят от вида топлива и режима его сжигания, конструкции котла и многих других факторов. Это определяет необходимость проведения комплексных исследований состава и свойств минеральной части различных углей, сжигаемых на электростанциях Казахстана, так как основной причиной недостаточного использования золошлаков в народном хозяйстве является неудовлетворительное состояние изученности золы и шлака как сырья. Золошлаковые отходы включают золу уноса – порошкообразный пылевидный материал, улавливаемый из дымовых газов ТЭС. В зависимости от способа улавливания зола может быть мокрой и сухой. В настоящее время используется в основном мокрый способ удаления золы и шлака – гидрозолоудаление (ГЗУ) [5]. В качестве твердого топлива на ТЭС больше всего используется Экибастузский уголь, характеризующийся высокой зольностью (30–40 %). Поэтому в настоящее время на территории Казахстана в районе действующих ТЭС скопилось огромное количество золы и шлаков (>4600 млн.т.). Они занимают огромные площади и негативно действуют на окружающую среду. Зола Экибастузских углей содержит до 30 % оксида алюминия [6]. Только с золой Экибастузских ГРЭС ежегодно сбрасывается в отвал около 6 млн.т. оксида алюминия. Следовательно, золы Экибастузских углей являются фактически неисчерпаемым источником сырья для производства глинозема. Кроме того, в золе содержатся и другие микроэлементы, например, ванадий. Использование золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭС на 90 % приближает технологию ТЭС к безотходной.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 РНД 03.0.0.2.01 – 96. Классификатор токсичных промышленных отходов производства промышленных предприятий РК. – Алматы : МОООС РК, 2007.
- 2 **Сысоев, Ю. М., Баработкина, Т. А.** / Некоторые аспекты оценки воздействия золоотвалов ТЭС на окружающую среду. / Энергетик. 1997. – № 6. – 6–8 с.
- 3 Технология производства портландцемента: учеб. пособие. / Б. Т. Таймасов. – Шымкент : ЮКГУ, 2003. – 297 с.
- 4 **Волженский, А. В. Иванов, И. Л., Виноградов, Б. Н.** / Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов. – М. : Стройиздат, 2004. – 216 с.
- 5 **Волженский, А. В. Иванов, И. Л., Виноградов, Б. Н.** Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов. – М. : Стройиздат, 1984. – 216 с.
- 6 **Кизельштейн, Л. Я.** Компоненты зол и шлаков ТЭС – М. : Энергоиздат, 2003. – 106 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*М. А. Елубай<sup>1</sup>, С. Қ. Бұхарбаев<sup>2</sup>*

**Энергетика кәсіпорындардың қалдықтарын шикізат ретінде ұтымды пайдалану**

<sup>1,2</sup>Химиялық технологиялар және жаратылыстану факультеті,  
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*M. A. Yelubay<sup>1</sup>, S. K. Bukharbayev<sup>2</sup>*

**Rational use of waste from energy enterprises as raw materials**

<sup>1,2</sup>Faculty of Chemical Technologies and Natural Sciences,  
S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Бұл мақалада электр станцияларынан қатты отынды жағу кезінде пайда болатын күл мен шлақ қалдықтарын пайдалану мүмкіндігінің өзекті мәселелері қарастырылады. Қатты отынды жағу нәтижесінде алынған күлдің химиялық құрамы көрсетілген. Қазақстан аумағындағы жылу электр станцияларынан көмір жағу*

*нәтижесінде алынған күл мен шлақ қоспаларының жылдық мөлшері туралы мәліметтер келтірілген. Сонымен қатар пайда болған күлді халық шаруашылығында жеткіліксіз пайдаланудың негізгі себептері қарастырылады. Күлді әр түрлі өндіріс салалары үшін шикізат және материал ретінде қайта пайдаланудың мүмкіндіктері келтірілген.*

*This article discusses current issues of the possibility of using ash and slag waste generated during the combustion of solid fuel from power plants. The chemical composition of ash is shown as the main product obtained by burning fuel. Data on the annual volumes of ash and ash-slag mixtures obtained by burning coal from thermal power plants in the territory of Kazakhstan are presented. The main reasons for the insufficient use of ash and slag in the national economy are considered. The possibilities of reusing ash as a raw material and material for various types of industries are given.*

**М. А. Елубай<sup>1</sup>, Е. Оразбекулы<sup>2</sup>, Г. С. Айткалиева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>Satbayev University, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>madik\_chimik@mail.ru

## **НЕИОНОГЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ**

*В данной работе приведены результаты по разработке новых алкил(поли)глюкозидных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Данные поверхностно-активные вещества были получены на основе глюкозы и жирного спирта, синтезированного из растительных масел. В статье изучено влияние применяемого катализатора на выход получаемого продукта и их основные характеристики. Выявлено, что максимальный выход неионогенных поверхностно-активных веществ наблюдается при температуре 95 °С и времени контакта 180 минут. Наилучшим катализатором, обеспечивающим хороший выход (73 %) и высокий показатель гидрофильности ПАВ, является серная кислота.*

*Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, катализаторы, глюкозы, жирный спирт, растительное сырьё, ГЛБ.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Неионогенные поверхностно-активные вещества – соединения, которые не ионизируются в воде, а образуют гидраты в водном растворе вследствие возникновения водородных связей между молекулами: воды и атомами кислорода молекулы ПАВ. За последние 50 лет возросло количество неионогенных поверхностно-активных веществ на рынке и достигла более 30 % от общего производства ПАВ по всему миру [1]. Это обусловлено их уникальными свойствами, таких как низкая критическая концентрация мицеллообразования, отсутствие чувствительности к солености или жесткости воды, высокая биоразлагаемость и низкий уровень токсичности, что дает возможность для их применения в качестве чистящих и моющих

средств, смачивающих агентов и эмульгаторов в фармацевтике, косметике и продуктах питания [1].

В настоящее время возникает тенденция производства эффективных и экологических зеленых продуктов, получаемых на основе растительного и природного сырья [2]. В связи с этим, особый интерес представляют алкил(поли)гликозиды, базирующиеся на углеводах, в частности, сахарах. Моносахариды и полисахариды, которые получают из возобновляемых ресурсов, принадлежат к классу веществ, которые приобретают все большее значение в качестве исходного материала для получения поверхностно-активных веществ.

Глюкозид состоит из определенного углевода, который служит гидрофильной головкой, состоящей в основном из моно- или дисахарида, например глюкоза, галактоза, мальтоза, ксилоза или рамноза, свойства глюкозида зависят от структуры и связи между олигомерными группами [3]. Углеводородный хвост состоит из насыщенного или ненасыщенного первичного спирта с разной длиной цепи [4–8].

Целью настоящей работы является получение новых неионогенных ПАВ, которые характеризуются высокой скоростью биоразложения, низкой токсичностью, отсутствием канцерогенности и не оказывают нежелательного воздействия на кожу и слизистую оболочку. Одним из таких притягательных алкилполигликозидов является ПАВ, содержащий полярные группы, в качестве которых выступают фрагменты углеводов (глюкоза), а неполярной частью является длинноцепочечный углеводородный радикал жирного спирта на основе растительного сырья.

Для получения жирных спиртов на основе сложных эфиров проводили реакцию гидрирования с применением катализатора, содержащего оксидные соединения Cu-Cr.

Сложные эфиры синтезировали путем реакции переэтерификации растительных масел (подсолнечного масла) низкомолекулярными спиртами (этанолом) по двухстадийной схеме: на первой стадии этерифицировали жирные кислоты этанолом при кислотном катализе ( $H_2SO_4$ ) и на второй – проводили переэтерификацию масла с щелочным катализатором (KOH).

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В данной работе неионогенные поверхностно-активные вещества синтезируют конденсацией образованных жирных спиртов и глюкозы. Данная реакция представляет собой взаимодействие глюкозы с избыточным количеством жирного спирта, что позволяет сократить до минимума олигомеризацию углевода. В качестве катализаторов использовались  $H_2SO_4$ ,  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $AlCl_3$ .

На рисунке 1 представлены кривые зависимости выхода ПАВ, полученного в присутствии катализатора серной кислоты, от времени в температурном интервале от 80 до 100 °С.

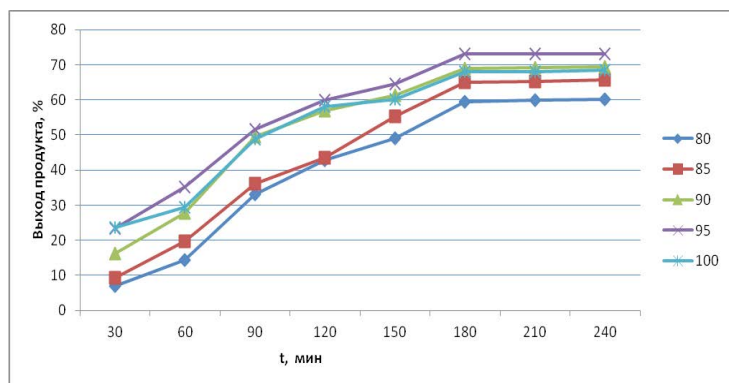


Рисунок 1 – Зависимость выхода ПАВ от времени при температурах от 80 до 100 °С

По данным графика выявлено, что при температуре ниже 95 °С скорость реакции мала. Выход продукта реакции при температуре 80°С и времени реакции 30 минут составляет 6,9 %, при повышении температуры до 85 °С – 9,4 %, при 90 °С – 16,2 % и 95 °С – 23,4 %. Дальнейшее увеличение времени до 180 минут значительно увеличивает выход продукта. Так, выход ПАВ при температуре 95 °С и времени контакта 180 минут составляет 73 %. Повышение времени контакта реагентов до 240 минут и температуры реакции до 100 °С не оказывают значительного эффекта на выход продукта.

Аналогичная зависимость выхода продукта от времени в температурном интервале от 80 до 100 °С (рисунок 2) наблюдается для ПАВ, полученного в присутствии катализатора  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

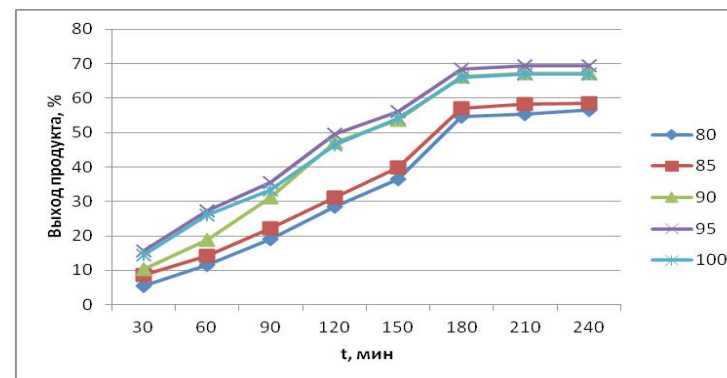


Рисунок 2 – Зависимость выхода ПАВ от времени при температурах от 80 до 100 °С

График (рисунок 3) описывает зависимость выхода ПАВ (катализируемый  $\text{AlCl}_3$ ) от времени в температурном интервале от 80 до 100 °С.

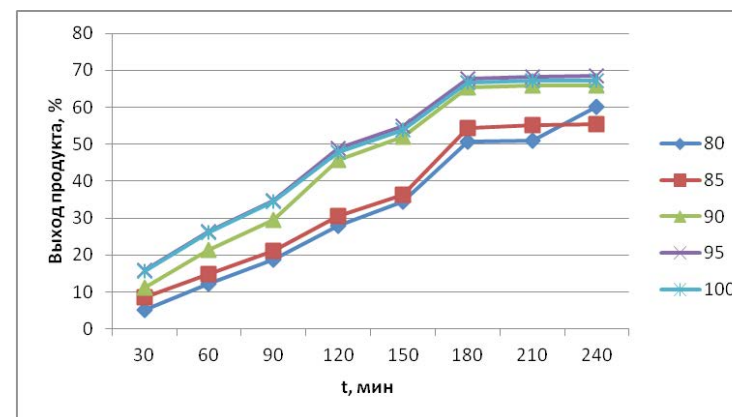


Рисунок 3 – Зависимость выхода ПАВ от времени при температурах от 80 до 100 °С

Таким образом, на основании данных графиков 1–3 установлено, что наиболее оптимальной температурой для выхода ПАВ является 95 °С, с увеличением которой не происходит значительного повышения скорости и выхода реакции. Отмечается, что максимальный выход целевого продукта (73 %) в присутствии серной кислоты в качестве катализатора реакции.

Известно, что ПАВ являются дифильными, то есть обладают двойственностью свойств, где неполярные радикалы называются липофильными (гидрофобными), а полярные – гидрофильными. Соотношение полярных и неполярных групп в молекулах ПАВ называют гидрофильно- липофильным балансом (ГЛБ), который определяет основные физико- химические, технологические свойства и область применения изучаемых ПАВ.

В таблице 1 представлены результаты определения ГЛБ для ПАВ, полученных в присутствии различных катализаторов.

Таблица 1 – Значения ГЛБ и растворимость ПАВ в воде

Катализаторы	Значения ГЛБ	Растворимость ПАВ, г/100 г вода
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,0	33,12
SnCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O	10,4	31,40
AlCl <sub>3</sub>	9,6	29,61

По результатам определения гидрофильно- липофильного баланса полученных продуктов можно заметить, что разработанные неионогенные ПАВ являются прозрачными дисперсиями и могут служить эффективными моющими средствами и эмульгаторами.

Наибольшее значение ГЛБ наблюдается для ПАВ, полученного в присутствии катализатора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, что также обуславливает их высокую растворимость и наилучшее присоединение молекул глюкозы.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, предложенный способ получения алкилполиглюкозида обеспечивает улучшенные характеристики поверхностно-активного вещества, использование натурального сырья в производстве ПАВ, а также позволяет получить значительный экономический эффект за счет использования вторичных продуктов переработки подсолнечника.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 S. M. Lee // J. Ind. Eng. Chem. – 2016, [Electronic resource]. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.04.019>.

2 **Makkar, R. S., Rockne, K. J.** Comparison of synthetic surfactants and biosurfactants in enhancing biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons// Environ. Toxicol. Chem. – 2003, 22. – P. 2280–2292.

3 W. von Rybinski, K. Hill Alkyl polyglycosides-properties and applications of a new class of surfactants // Angew. Chem. Int. Ed. – 1998, 37. – P. 1328–1345, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3773\(19980605\)37:10<1328::AIDANIE1328>3.0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3773(19980605)37:10<1328::AIDANIE1328>3.0).

4 **Svensson, D., Ulvenlund, S., Adlercreutz, P.** Enzymatic route to alkyl glycosides having oligomeric head groups // Green Chem. – 2009, – 11. – P. 1222–1226, <https://doi.org/10.1039/B904849A>.

5 **Izawa, S., Sakai-Tomita, Y., Kinomura, K., Kitazawa, S., Tsuda, M., Tsuchiya, T.** Introduction of a series of alkyl thiomaltosides, useful new non-ionic detergents, to membrane biochemistry // J. Biochem. – 1993, 113. – P. 573–576, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a124085>.

6 **J.J.M. Van Dongen, Langerak, A.W., Brüggemann, M., Evans, Pa. S., Hummel, M., Lavender, F. L., Delabesse, E.** Design and standardization of PCR primers and protocols for detection of clonal immunoglobulin and T-cell receptor gene recombinations in suspect lymphoproliferations: Report of the BIOMED-2 Concerted Action BMH4-CT98-3936, Leukemia. – 2003, 17. – P. 2257–2317, <https://doi.org/10.1038/sj.leu.2403202>.

7 **Drouet, P., Zhang, M., Legoy, M. D.** Enzymatic synthesis of alkyl P-D-Xylosides by transxylosylation and reverse hydrolysis // Biotechnol. Bioeng. – 1994, 43. – P. 1075–1080.

8 **Milkereit, G., Garamus, V. M., Veermans, K., Willumeit, R., Vill, V.** Structures of micelles formed by synthetic alkyl glycosides with unsaturated alkyl chains // J. Colloid Interface Sci. – 2005, 284. – P. 704–713, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.10.039>.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*М. А. Елубай<sup>1</sup>, Е. Оразбекулы<sup>2</sup>, Г. С. Айткалиева<sup>3</sup>*

**Неионогенные поверхностно-активные вещества на основе возобновляемого сырья**

<sup>1,2</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>Satbayev University, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

M. A. Yelubay<sup>1</sup>, Ye. Orazbekuly<sup>2</sup>, G. S. Aitkaliyeva<sup>3</sup>

### Nonionic surfactants based on renewable raw materials

<sup>1,2</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Satbayev University,  
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Бұл жұмыста жаңа алкил(поли)глюкозидті беттік-белсенді заттарды (ББЗ) әзірлеу нәтижелері көрсетілген. Бұл беттік-белсенді заттар глюкоза мен өсімдік майынан синтезделген майлы спирттен алынған. Мақалада пайдаланылған катализатордың алынған өнімнің шығымына және олардың негізгі сипаттамалары әсері қарастырылған. Иондық емес беттік активті заттардың максималды шығымы 95 °C температурада және әсер ету уақыты 180 минутта байқалатындығы анықталды. Күкірт қышқылы ББЗ жақсы өнімділікті (73 %) және жоғары гидрофильділік көрсеткішін қамтамасыз ететін ең жақсы катализатор болып табылады.*

*This paper presents the results of the development of new alkyl (poly) glucoside surfactants. These surfactants were derived from glucose and fatty alcohol synthesized from vegetable oils. The effect of the used catalyst on the yield of the obtained product and their main characteristics are studied in the article. It was revealed that the masked yield of nonionic surfactants was observed at a temperature of 95 °C and a contact time of 180 minutes. Sulfuric acid is the best catalyst providing a good yield (73 %) and a high hydrophilicity index of surfactants.*

ГРНТИ 50.47.02

**Л. Н. Есмаханова<sup>1</sup>, М. К. Жанкуанышев<sup>2</sup>,  
В. П. Марковский<sup>3</sup>, А. Б. Утегулов<sup>4</sup>, И. В. Кошкин<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD доктор, и.о. доцента, кафедра «Автоматики и телекоммуникаций», Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080014, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., и.о. доцента, кафедра «Электроэнергетики», Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, 080014, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н. доцент, кафедра «Электроэнергетики», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., профессор, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Электроэнергетики», Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>laura060780@mail.ru, <sup>3</sup>vadim54@mail.ru; <sup>4</sup>utegulov76@mail.ru;

<sup>5</sup>elektroenergetika@mail.ru

## **ВНЕДРЕНИЕ SCADA-СИСТЕМЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*В статье дан обзор SCADA-систем для контроля и управления технологическими процессами на производстве, а так же проведен анализ возможностей современных программных продуктов. Рассматриваются вопросы выбора наиболее подходящих и эффективных программно-технических средств управления при создании АСУ ТП. Для предприятий пищевой промышленности важно внедрить информационные технологии для эффективного планирования производства продукции и потребностей в сырье, которое становится важным условием конкурентоспособности.*

*Ключевые слова: информационные технологии, контроль, диспетчер, управление, программируемый логический контроллер, сигнализация, интерфейс.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня предприятия пищевой промышленности все шире внедряют информационные технологии, направленные на увеличение эффективности



производства. Одним из наиболее эффективных направлений повышения эффективности является применение информационных технологий.

Внедрение в производство пищевых продуктов информационных технологий позволяет не только получить прямой экономический эффект, но и значительно увеличить качество продукции, улучшить товарный вид. В результате применения информационных технологий появляется возможность увеличить уровень доверия партнеров и потребителей продуктов. В связи с тем, что продукция пищевой промышленности имеет ограниченный срок реализации необходима своевременная информация о всех этапах промышленного цикла от закупа сырья до реализации, что возможно с применением современных информационных технологий [1].

SCADA-система с успехом применяется в автоматизации технологических процессов предприятий пищевой промышленности уже более 20 лет. SCADA-система дает высокотехнологичное и вместе с тем экономичное решение для автоматизации широкого спектра пищевых производств. На базе SCADA-системы разработаны современные АСУ ТП для всех основных отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности Республики Казахстан.

SCADA применяется в АСУ ТП:

- сахарных заводов (АСУ ТП процессов диффузии, очистки, дефекосатурации);
- производства комбикормов (автоматизация процессов дозирования по рецептурам);
- элеваторов (автоматизация хранения и отпуска зерна);
- спиртовых заводов (АСУ ТП спиртоприемки, ректификации спирта, розлива, купажа);
- микроклимата овощехранилищ;
- хладокомбинатов;
- производства соков;
- производства консервов (АСУ ТП автоклавов),
- хлебозаводов;
- жировых комбинатов;
- маслоэкстракционных заводов;
- а также на многих других процессах пищевой и перерабатывающей промышленности [1].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Задачей SCADA-систем является сбор информации о множестве удаленных объектов, поступающей с пунктов контроля, и отображение этой информации в едином диспетчерском центре, обеспечение связи с внешними приложениями (система управления базами данных, электронные

таблицы, текстовые процессоры и т.д.), ведение базы данных реального времени с технологической информацией. Также, SCADA-система должна обеспечивать долгосрочное архивирование полученных данных. Диспетчер зачастую обладает возможностью не только пассивно наблюдать за объектом, но и им управлять им, реагируя на различные ситуации. Общая типовая структура промышленной автоматизации приведена на рисунке 1 [2].

В системе качестве главного управляющего устройства используется программируемый логический контроллер – ПЛК150, который позволяет организовать систему управления любой степени сложности.

Измерение рабочего давления, например, внутри автоклава осуществляется датчиками с выходным унифицированным сигналом (4...20 мА).

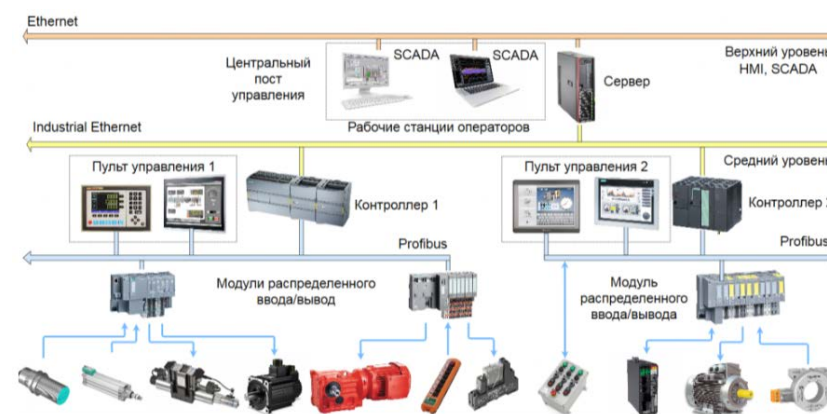


Рисунок 1 – Общая типовая структура промышленной автоматизации

Информация с них поступает на входы контроллера. Параметры регулирования – температура и давление – взаимосвязаны между собой, поэтому в системе предусмотрено два связанных канала управления. В качестве модуля управления выходными устройствами используется модуль вывода МВУ8, который связан с контроллером по интерфейсу RS-485.

Передача данных и управление на верхнем уровне осуществляется по интерфейсу Ethernet. В качестве SCADA-системы для визуализации, архивирования и управления процессом используется любая программная среда, например, CODESYS. По выбору руководства предприятия может использоваться любая SCADA-система.

Для отображения информации технологического процесса непосредственно на объекте используется панель оператора. Связь между контроллером и панелью осуществляется по сетевому интерфейсу RS-485.

SCADA-пакет предназначен для создания систем сбора данных, диспетчерского управления и мониторинга различного масштаба, начиная с автономных операторских мест и заканчивая распределенными системами управления с клиент-серверной архитектурой, в которых задействованы сразу несколько рабочих станций, объединенных в сеть с возможностями поддержки средств обеспечения избыточности, дублирования, резервирования и безопасности, в том числе шифрования данных (рисунок 2) [3].

Как и в любом современном SCADA-пакете имеются такие компоненты, как внутренняя или внешняя база данных реального времени и истории, мощный 2D и 3D графический редактор с поддержкой эффектов анимации, генератор отчетов, встроенный язык программирования, веб-интерфейс, средства разграничения прав доступа и сопровождения версий проектов, подсистемы обработки тревог, событий, трендов реального времени и истории, аналитика и статистика.

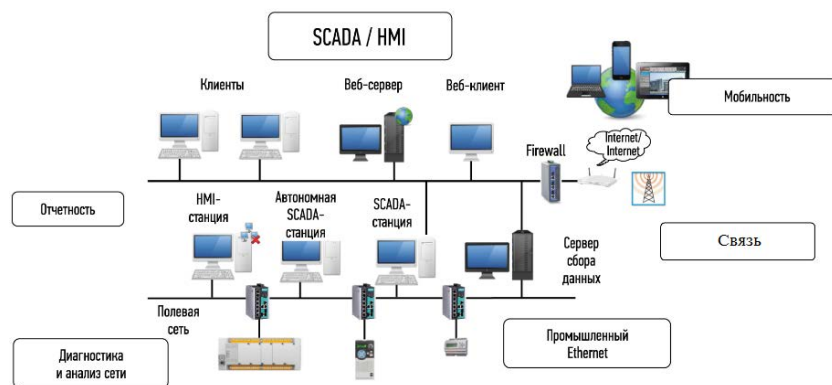


Рисунок 2 – Основные элементы линейки программных продуктов на основе Scada

Кроме того имеются функции настройка языка интерфейса (русский, английский, французский, немецкий и т.д.), локализованная документация и подсказки, средства календарного планирования, рецепты, OPC-интерфейс, поддержка промышленных протоколов и многое другое (рисунок 3).

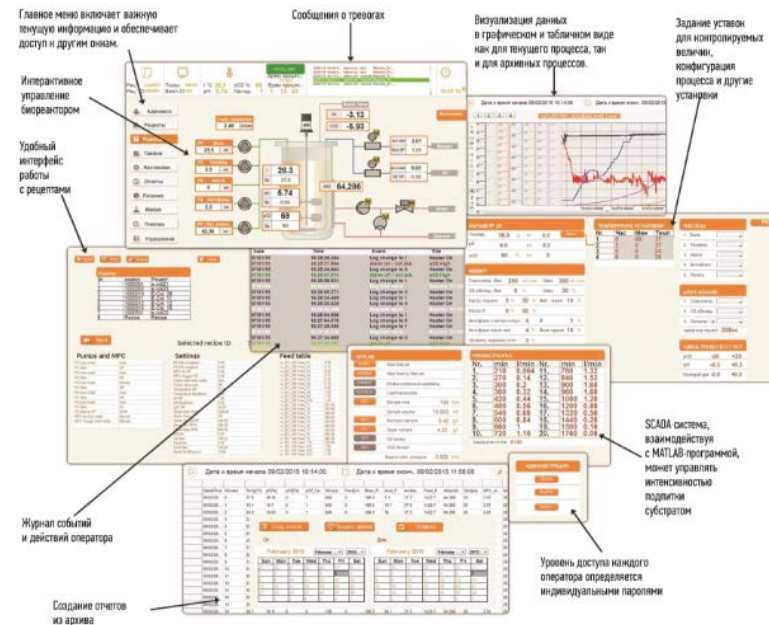


Рисунок 3 – Пакет программ Scada для управления и контроля процессов в ферментерах и биореакторах в пищевой промышленности

## РЕЗУЛЬТАТЫ

SCADA-система позволяет наблюдать как меняются параметры технологического процесса в реальном времени, а также просматривать информацию за определённый период в прошлом. Система позволяет видеть целостную картину по конкретным параметрам производства, быстро анализировать эту картину и принимать решения о дальнейших действиях. Например, на графике мы можем увидеть, что в определенное время суток какой-то параметр резко падает или возрастает на определённую величину (рисунок 4). При подаче этих данных в виде таблицы такой провал заметить довольно сложно. На графике это легко определить. В таком случае использование системы поможет предотвратить скорую поломку оборудования или исправить ошибки в управлении процессом (рисунок 5).

Помимо контроля и регулирования технологических параметров процесса, SCADA должна сообщать о важных событиях, которые происходят в системе: аварии, или предаварийные значения параметров, изменения задания необходимой величины параметров и т.д. Если необходимо периодически напоминать о каком-то событии оператору, то для этого

существует световая и звуковая сигнализация и возможность оповещения пользователей по смс, e-mail или другими необходимыми способами.

Предприятия, работающие в различных сегментах пищевой отрасли, имеют свои очевидные особенности производства и сбыта продукции. Соответственно, ИТ-решения могут быть разными.



Рисунок 4 – График изменения параметров технологического процесса в реальном времени

0:13:44	800	4,4	139,2	50,4	48	42,7	136,4	52,1	55	37,2	46,5	45,3	57,6	46,4	24,1	0	0
0:13:49	810	-1,4	137,4	49,9	48	41,8	136,4	52,4	55	37,5	46,6	45,2	57,6	45,9	24,5	0	0
0:13:54	820	0,2	137	49,8	48	41,6	136,4	52,5	55	37,3	46,6	45,2	57,6	46,4	24,4	0	0
0:13:59	790	5,3	139,3	49,9	48	43,1	136,4	52,3	55	37,7	46,4	45,1	57,8	45,9	24,1	0	0
0:14:04	830	1	136,6	50,2	48	41,6	136,3	52,6	55	37,9	46,2	45,1	57,7	46,5	24,3	0	0
0:14:09	760	-1,2	137,5	50,4	48	42,3	136,4	52,1	55	37,4	45,9	44,9	58,1	46,5	24,5	0	0
0:14:14	800	5,1	138,8	50,5	48	43,5	136,4	52,5	55	37,2	45,8	44,8	57,9	46,6	24,1	0	0
0:14:19	800	2,6	136,9	50,3	48	42,4	136,3	52,6	55	31,4	45,8	44,5	58	46,3	24,2	0	0
0:14:24	740	-1,2	137,2	50,5	48	42,7	136,4	51,9	55	37,1	45,6	44,2	58,4	46,4	24,5	0	0
0:14:29	790	4,9	139	50,5	48	44	136,3	53	55	36,6	45,5	44	58	46,4	24,1	0	0
0:14:34	760	2,9	137,1	50,8	48	42,8	136,3	51,3	55	37	45,3	43,9	58,9	46,6	24,3	0	0
0:14:39	810	-0,6	136,8	51,1	48	42,6	136,4	53,2	55	36,5	45	43,9	58	47	24,5	0	0
0:14:44	800	4,6	138,8	51,2	48	44	136,4	51,1	55	36,1	44,9	43,9	59,2	46,4	24,1	0	0
0:14:49	780	3,3	137,5	51,5	48	43,2	136,4	53,3	55	36,6	44,7	43,9	58,2	47,5	24,3	0	0
0:14:54	820	-1	136,6	51,4	48	42,7	136,4	51,5	55	36,1	44,6	43,8	59,2	47,9	24,5	0	0
0:14:59	770	4,6	138,5	51,5	48	44	136,3	52,8	55	35,9	44,5	43,4	58,6	47,8	24,1	0	0
0:15:04	800	1,1	138,4	51,4	48	44	136,3	52,4	55	36,6	44,4	42,9	58,9	47	24,4	0	0
0:15:09	770	-0,2	136,5	51,4	48	42,9	136,3	51,9	55	36,1	44,4	42,9	59,2	45,1	24,4	0	0
0:15:14	810	4,9	137,4	51,2	48	43,3	136,3	53,1	55	36	44,4	42,8	58,8	47,5	24	0	0
0:15:19	810	0,7	138,9	50,8	48	44,3	136,3	51,4	55	36,5	44,5	42,8	59,7	48,1	24,4	0	0
0:15:24	830	-1,3	137,4	50,4	48	43,3	136,3	53,4	55	36,1	44,6	42,8	58,8	48,4	24,5	0	0
0:15:29	780	5,2	137	49,8	48	43,1	136,2	51,3	55	36,6	44,9	42,6	59,9	48,5	24	0	0
0:15:34	750	3,8	139,6	48,9	48	44,7	136,2	53,8	55	37,2	45,2	42,1	58,7	48,5	24,2	0	0

Рисунок 5 – Подача данных в виде таблицы

Что их объединяет, это непрерывный тип производства, а значит, необходимость при планировании цепочек поставок и автоматизации управления производством учитывать соответствующие особенности: наличие сложных рецептур, с комплексом побочных продуктов, которые, в

свою очередь, могут быть задействованы в параллельных производственных цепочках; переменные характеристики состава сырья и свойств готовой продукции; непрерывный характер основных технологических процессов и прочие [4].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, если реализовать все задачи в SCADA системе, то это повысит надежность протекания технологического процесса и качество выходного продукта. Все, что происходит во время процесса, регистрируется, что позволяет проводить сравнительные анализы, что всегда являлось важным. Интерфейс системы, вместе с панелью управления, позволит осуществлять мониторинг за всем процессом, без особых усилий. Однако, SCADA системы это всего лишь программное обеспечение, которое без АСУ ТП никакой ценности не несет. Следовательно, грамотная и высоконадежная АСУ ТП служит гарантией бесперебойности, эффективности и безопасности функционирования технологических процессов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Золотарев, С. В.** SCADA-пакет PcVue как интегрирующая платформа в системах мониторинга и управления процессами: результаты и основные тренды // Автоматизация зданий. 2010. № 3–4.

2 **Соловьева, А. Г., Золотарев, С. В.** Инновационные возможности SCADA-пакета PcVue 11 обеспечивают модернизацию системы диспетчеризации инженерных объектов завода «РЕНО Россия» // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. 2015. № 1.

3 **Золотарев, С. В.** SCADA-пакет PcVue и ветроэнергетика: от Гранады в Испании до Клондайка в США // ИСУП. 2011. № 1.

4 **Булгакова, В. П., Кривопалова, С. Е., Польшакова, Н. В.** Применение автоматизированных информационных систем управления на предприятиях пищевой промышленности // Молодой ученый. – 2016. – № 27. – С. 18–20.

5 **Соснин, О. М.** Основы автоматизации технологических процессов и производств: Учеб. пособие для вузов / О. М. Соснин. – 2-е изд., стер. – М. : Изд. центр «Академия», 2009. – 240 с. ISBN 978-5-7695-6487-1.

6 **Шидловский, С. В.** Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие. – Томск : Изд-во НТЛ, 2005. –100 с.

7 **Манквейн, В. Т., Фролов, С. В., Шехтман, М. Б.** Применение Scada-систем для автоматизации технологических процессов: Учебное пособие. М. – Томбов : Машиностроение, – 2000. – 176 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Л. Н. Есмаханова<sup>1</sup>, М. К. Жанкуанышев<sup>2</sup>, В. П. Марковский<sup>3</sup>,  
А. Б. Утегулов<sup>4</sup>, И. В. Кошкин<sup>5</sup>*

**Тамақ өнеркәсібіндегі технологиялық процестерге SCADA-жүйелерді ендіру**

<sup>1,2</sup>М. Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті,  
Тараз қ., 080014, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы;

<sup>5</sup>Ахмет Байтұрсынов атындағы Университет,  
Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*L. N. Esmakhanova<sup>1</sup>, M. K. Zhankuanyshev<sup>2</sup>, V. P. Markovsky<sup>3</sup>,  
A. B. Utegulov<sup>4</sup>, I. V. Koshkin<sup>5</sup>*

**Implementation of the SCADA system in food processing processes**

<sup>1,2</sup>Department of Automation and Telecommunications,  
M. H. Dulati Taraz State University,

Taraz, 080014, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,  
Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan;

<sup>5</sup>Department of electric power engineering,  
A. Baitursynov Kostanay State University,

Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Мақалада өндірістегі технологиялық процестерді бақылау және басқару үшін SCADA-жүйелеріне шолу берілген, сондай-ақ қазіргі заманғы бағдарламалық өнімдердің мүмкіндіктеріне талдау жасалған. ТПБАЖ құру кезінде басқарудың ең қолайлы және тиімді бағдарламалық-техникалық құралдарын таңдау мәселелері қарастырылады. Тамақ өнеркәсібі кәсіпорындары үшін бәсекеге қабілеттіліктің маңызды шарты болып табылатын өнім өндірісін және шикізатқа қажеттілікті тиімді жоспарлау үшін ақпараттық технологияларды енгізу маңызды.*

*The article provides an overview of SCADA systems for control and management of technological processes in production, as well as an analysis of the capabilities of modern software products. The issues of choosing the most suitable and effective software and hardware management tools for creating an automated control system are considered. It is important for food industry enterprises to implement information technologies for effective planning of production and raw material requirements, which becomes an important condition for competitiveness.*

**М. Г. Жумагулов<sup>1</sup>, С. А. Глазырин<sup>2</sup>, А. И. Глазырин<sup>3</sup>,  
К. Ш. Ержанов<sup>4</sup>, Н. С. Глазырина<sup>5</sup>, К. С. Ажикенов<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., PhD, кафедра «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., PhD, кафедра «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>д.т.н., профессор ВАК РК, кафедра «Энергетика и Машиностроение», Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., Факультет Инжиниринга, Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, 130000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>PhD, кафедра «Вычислительная техника», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>mikelike2000@yandex.kz; <sup>2</sup>glan-sergey@yandex.ru;

<sup>3</sup>teplovik-vhr@yandex.kz; <sup>4</sup>kaly75@mail.ru; <sup>5</sup>glazirinan@yandex.ru;

<sup>6</sup>bespaevamaya24@mail.ru

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ АДМИНИСТРАТИВНО-  
БЫТОВОГО КОРПУСА ТОО «KSP STEEL» ЗА СЧЕТ  
ВТОРИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

*В статье описано технологическое решение по утилизации теплоты уходящих газов карусельных печей металлургического трубопрокатного завода ТОО «KSP Steel» для теплоснабжения административно-бытового корпуса. В процессе выполнения проекта произведены анализ потерь тепловой энергии через наружные ограждения административного корпуса, расчет теплотребления административно-бытового корпуса, разработка схемы прокладки тепловой сети, расчет расхода необходимой сетевой воды, гидравлический расчет водяной тепловой сети и построение пьезометрического графика, выбор тепловой изоляции и просчитана*

*ее толщина, расчет тепловых потерь трубопроводов, расчет и выбор водо-водяных и газо-водяного теплообменников, проект внутридомовой тепловой сети. В результате технико-экономического анализа рассчитаны капитальные и эксплуатационные затраты проекта. Срок окупаемости составит один отопительный сезон.*

*Ключевые слова: утилизация дымовых газов, вторичные энергоресурсы, система теплоснабжения, металлургия, газо-водяной теплообменник.*

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в использовании вторичных энергетических ресурсов имеются значительные резервы.

Задача максимального использования ВЭР имеет не только экономическое, но и социальное значение, поскольку снижение расходов топлива, обеспечиваемое использованием ВЭР, уменьшает вредные выбросы и снижает загрязнение окружающей среды.

ВЭР нельзя рассматривать как даровые дополнительные источники энергии. Они являются результатом энергетического несовершенства технологических производств, поэтому необходимо стремиться к снижению их выхода за счет более полного использования топлива в самом технологическом агрегате. В этом состоит основная задача повышения эффективности теплотехнических производств, наиболее полного использования ВЭР, как неизбежного спутника этих процессов.

Предприятие металлургии потребляет большое количество топлива, тепловой и электрической энергии. Наряду с этими технологиями металлургического производства характеризуется значительным выходом вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Разработан проект технологического решения по утилизации теплоты уходящих газов карусельных печей металлургического трубопрокатного завода ТОО «KSP Steel» для теплоснабжения административно-бытового корпуса.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Завод ТОО «KSP Steel» по расположен в Промышленной зоне г. Павлодар рядом с ТЭЦ-2.

Карусельная печь для использования в черной металлургии содержит печь, которая имеет в плане форму кольца и снизу закрыта вращающимся подом, облицованным сверху огнеупорным материалом, и основание этой печи. Под содержит одинаковые кольцевые секторы, которые соединены с образованием кольца, комплементарного кольцу внутренней

планировки печи, и которые вращаются вокруг центральной оси этого кольца посредством двух концентрических наборов колес, установленных на двух окружностях на равных расстояниях друг от друга, закрепленных с помощью опор на основании или снизу пода и комплементарных двум окружным рельсам, закрепленным соответственно снизу пода или на основании. Оба указанных набора колес и указанные два рельса установлены с обеспечением распределения поровну действующей на них нагрузки. Ввод в эксплуатацию – 2006 г. Номинальная производительность: 100/110 тонн/час. Размеры: средний диаметр 26,0 м, мертвая зона в линии загрузки и разгрузки 11 градусов, внутренняя ширина печи 5,30 м. Продукт – круглые заготовки. Температура при разгрузке: 1280 °С.

Система горения:

тип топлива – LPG (P.C.I. = 23000–25000 ккал/м<sup>3</sup>);

тип горелок – поперечные: FXB, излучатель: VG4, VG6;

тип рекуператора – связанные трубы, конвекционного типа;

управление горением – PLC регулирование с контролем Уровня 1.

Система горения разработана для сжигания LPG (газовая смесь пропана и бутана), который имеет следующие характеристики: низшая теплотворная способность: 23000–25050 ккал/м<sup>3</sup>.

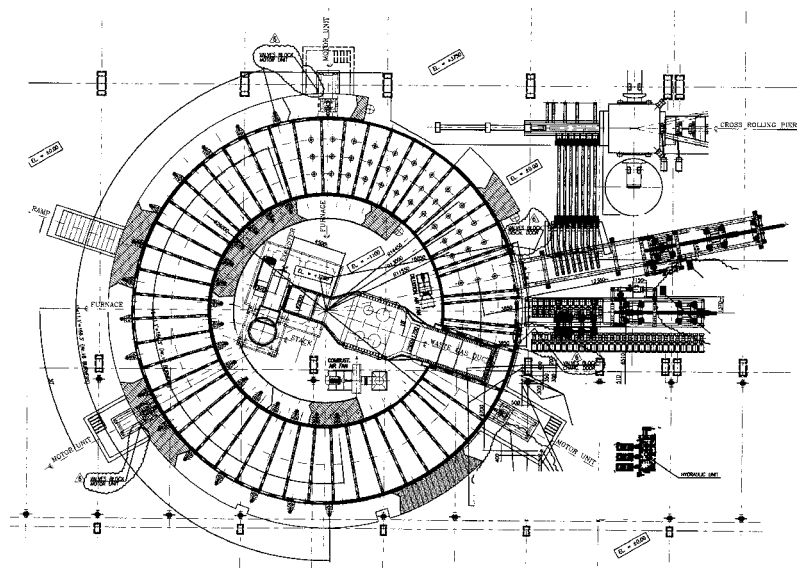


Рисунок 1 – Карусельная печь

Система нагрева состоит из:

- системы воздуха для горения;
- вентилятора;
- рекуператора;
- топливной системы;
- горелок;
- системы воздуха для приборов;
- системы сжатого воздуха;
- системы отработавших газов;
- выпускной трубы;
- трубопровода;
- клапана давления печи;
- вытяжного вентилятора;
- вытяжной трубы.

Отработавшие газы выводятся в атмосферу из печи при помощи стальной вытяжной трубы с вентиляторным дутьем через вытяжной вентилятор. Вытяжная труба сделана из катанной углеродистой стали, имеет внутреннюю огнеупорную футеровку и является самоподдерживающей. Высота трубы 25,5 м.

Анализ потерь тепловой энергии через наружные ограждения административного корпуса показал, что потери тепла составляют 630,88 кВт.

Произведен анализ существующих современных теплоизоляционных материалов, выбрана пенополиуретановая изоляция (ППУ). К преимуществам теплопроводов с ППУ-изоляцией относят низкий коэффициент теплопроводности ППУ (0,032–0,035 Вт/(м•К)), технологичность при изготовлении и при монтаже теплопроводов, долговечность при соблюдении требований монтажа и эксплуатации.

Для установки теплового пункта, включающего в себя два водяных теплообменника, установленных последовательно по ходу сетевой воды теплосети соответственно: первым – теплообменник на отопление, вторым – теплообменник на горячее водоснабжение, а также сетевых и циркуляционных насосов, будет произведено строительство пристройки к административному зданию со стороны цеха газоочистки.

На рисунке 2 показана схема установки теплообменников и насосов в пристройке теплового пункта с результатами расчетов.

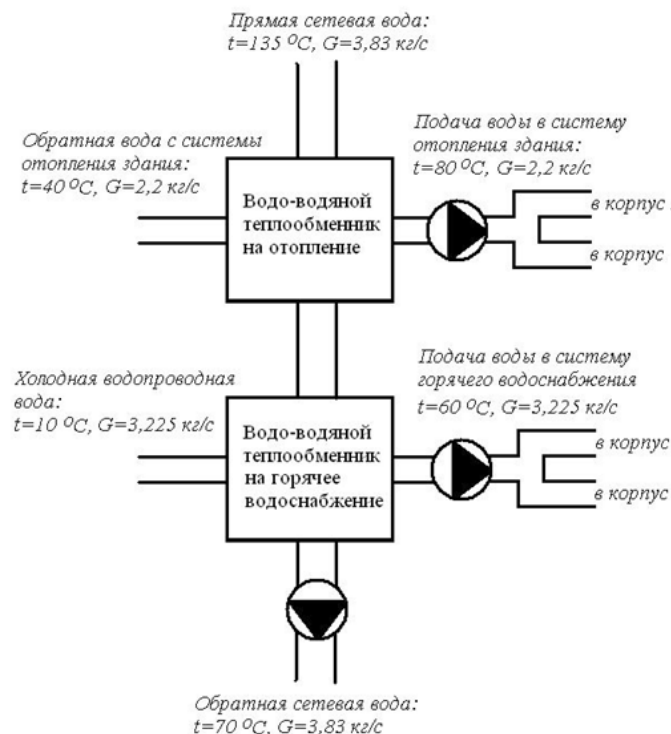


Рисунок 2 – Схема теплового пункта

В цехе газоочистки в газоходе на выходе из печи устанавливается газо-водяной теплообменник для нагрева сетевой воды проектируемой тепловой сети.

### ВЫВОДЫ

В результате технико-экономического анализа рассчитаны капитальные и эксплуатационные затраты проекта. Срок окупаемости составит один отопительный сезон.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Глазырин, С. А. Разработка технологии утилизации тепла отходящих газов ТОО «Тау-Кеп Темір» // Отчет по научно-исследовательской работе, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2017, Астана, 115 с.

2 Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

М. Г. Жумагулов<sup>1</sup>, С. А. Глазырин<sup>2</sup>, А. И. Глазырин<sup>3</sup>, К. Ш. Ержанов<sup>4</sup>, Н. С. Глазырина<sup>5</sup>, К. С. Ажикенов<sup>6</sup>

«KSP STEEL» ЖШС-нің кеңсе ғимаратын жылумен қамтамасыз ету

<sup>1,2,5</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>М. Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау қ., 130000, Қазақстан Республикасы;

<sup>6</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

M. G. Zhumagulov<sup>1</sup>, S. A. Glazyrin<sup>2</sup>, A. I. Glazyrin<sup>3</sup>, K. S. Erzhanov<sup>4</sup>, N. S. Glazyrina<sup>5</sup>, K. S. Azhikenov<sup>6</sup>

Heat supply of the office building of KSP STEEL LLP due to secondary heat energy resources

<sup>1,2,5</sup>L. N. Gumilyov Eurasia National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>M. Dulatov Kostanay Engineering and Economics University, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Yessenov University, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan;

<sup>6</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

Мақалада әкімшілік ғимаратты жылумен қамтамасыз етуге арналған «KSP Steel» ЖШС металлургиялық құбыр прокат зауытының айналмалы пештерінен шығарылған газдардың жылуын пайдаға асырудың технологиялық шешімі сипатталған. Жоба барысында әкімшілік ғимараттың сыртқы қоршаулары арқылы жылу энергиясының шығынын талдау, әкімшілік және тұрғын үй

гимаратының жылу шығынын есептеу, жылу желілерін төсеу сызбасын әзірлеу, судың қажетті желісін есептеу, су жылыту желісін гидравликалық есептеу және пьезометриялық график құру, жылу оқшаулауды таңдау және оны есептеу жүргізілді. қалыңдығы, құбырлардың жылу шығынын есептеу, су – су және газ – су жылу алмастырғыштарын есептеу және таңдау, үй жылуының жобасы ТҮ. ТЭН нәтижесінде жобаның капиталды және пайдалану шығындары есептеледі. Өтемділік мерзімі бір жылу маусымы болады.

*The article describes the technological solution for the rotary kilns exhaust gases heat utilization at the metallurgical pipe-rolling plant KSP Steel LLP for the heat supply of the administrative building. In the course of the project, the analysis of heat energy losses through the external enclosures of the administrative building, calculation of the heat consumption of the administrative and housing building, development of the heating network laying scheme, calculation of the required network water consumption, hydraulic calculation of the water heating network and construction of a piezometric graph, selection of thermal insulation and its calculation were made thickness, calculation of heat losses of pipelines, calculation and selection of water – water and gas – water heat exchangers, the project of house heat ТҮ. As a result of the feasibility study, the capital and operational costs of the project are calculated. The payback period will be one heating season.*

ГРНТИ 34.03.47

**С. П. Инютин<sup>1</sup>, С. С. Нурғалиев<sup>2</sup>,  
Г. А. Джапарова<sup>3</sup>, А. С. Айнагулова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, эксперт Программы развития ООН, Представительство ООН в Нур-Султане, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>менеджер проекта Программы развития ООН, Представительство ООН в Нур-Султане, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.э.н., профессор, Факультет «Бизнес и информационные технологии», университет «Туран-Астана», г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., доцент, Факультет «Бизнес и информационные технологии», университет «Туран-Астана», г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>s.inyutin@mail.ru; <sup>2</sup>syrym.nurgaliyev@undp.org; <sup>3</sup>turan.kafit@mail.ru; <sup>4</sup>aynagulova@tau-edu.kz

## **КАЧЕСТВО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ, ВОПРОСЫ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МАРКИРОВКИ СВОТТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

*В данной работе рассмотрены вопросы фотобиологической безопасности различных источников света (в том числе светодиодов), проанализированы действующие стандарты и нормы, рассмотрена система маркировки безопасной светотехнической продукции. Важнейшая проблема повышение качества светотехнической продукции и потенциала энергосбережения в Республике Казахстан не может быть решена без создания устойчивой системы сертификации и верификации, для решения такой задачи необходимо создать сеть испытательных лабораторий, оснащенных по последнему слову техники и имеющих соответствующее методическое обеспечение.*

*Ключевые слова: качество освещения, фотобиологическая безопасность ламп, лампы системы, верификация, маркировка светотехнической продукции.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время при изучении внедрения искусственного энергоэффективного освещения, была выявлена основная проблема, которая состоит в насыщении рынка Казахстана разнообразной светотехнической продукции неизвестных производителей, которая не выдерживает никакой



критики при ее использовании. Открылась масса цехов по сбору светильников из светодиодных модулей, специалистами без соответствующих знаний и опыта. В результате анализа исследований и опубликованных документов, ряд ведущих международных исследовательских организаций пришли к следующему выводу: создание системы качества на базе сертификации и верификации светодиодной продукции позволит оградить рынок от подделок и просто нестандартной продукции и, что самое важное, сделать ее безопасной для потребителя.

Различные компании на рынке освещения не могут идти в ногу с таким стремительным ростом инновационных технологий и для реализации своей продукции лоббируют исследования и публикации в нужном для них направлении, объясняя, что новые технологии несут вред здоровью или окружающей среде, не учитывая успешный международный опыт, который широко отражен в материалах проектов, проводимых Программой Развития ООН.

Проекты Программы Развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) по энергоэффективности, реализуемые в Казахстане, содействуют внедрению системы качества электротехнического оборудования и его безопасности, в том числе фотобиологической безопасности светотехнической продукции, созданию сети специализированных лабораторий в Республике Казахстан.

В нашей статье затронут ряд следующих важных аспектов светодиодной революции в освещении.

1 О безопасности использования светодиодных источников света для искусственного освещения помещений: учреждений для детей и подростков, детских комнат жилых домов, медицинских учреждений и т.п.

2 Какими мерами можно обеспечить получение корректной информации о покупаемых световых приборах?

3 Какая маркировка отразит фотобиологическую безопасную светодиодную продукцию?

4 Качество освещения напрямую связано с нормативной и испытательной базой, именно там и проводится верификация систем в специализированных лабораториях.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Изучение проблем, связанных с внедрением энергоэффективного искусственного освещения.

*Определение параметров и групп риска.* Как видно из рисунка 1, рынок LED (светодиодного) освещения в последние годы развивается стремительно (растет на 13,5 % год), постоянно появляются и внедряются

новые технологии, и в такой бурной среде необходимо отслеживать основные тенденции систем освещения, вопросы энергоэффективности и безопасности на основе качественных характеристик приборов и оборудования.

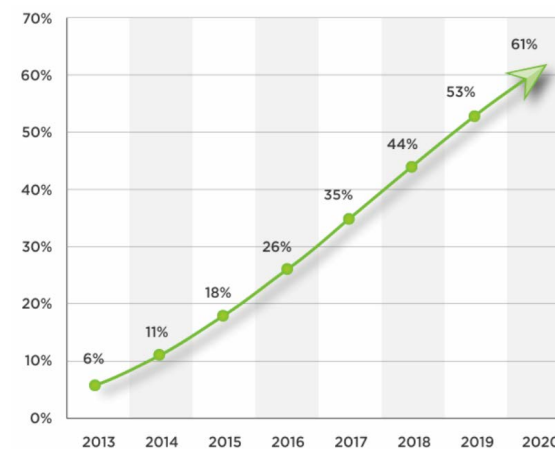


Рисунок 1 – Рынок светодиодного освещения в период 2013–2020 гг.

Для решения задач по внедрению энергоэффективного электротехнического оборудования, фотобиологической безопасности светодиодной продукции экспертами ПРООН был проведен ряд научно-исследовательских работ по воздействию светодиодного света на зрительную и циркадианную систему человека, и выделена следующая основная проблема [1]: так, согласно мнению Европейского научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR), дети, подростки, пожилые люди и офтальмологические больные являются группой повышенного зрительного риска по отношению к искусственным источникам света с избыточной синей компонентой.

В этой связи рассмотрены следующие аспекты: безопасность использования светодиодных источников света для искусственного освещения помещений: учреждений для детей и подростков, детских комнат жилых домов, медицинских учреждений, меры обеспечения получения корректной информации о покупаемых световых приборах, выбор маркировки для отражения фотобиологической безопасной светодиодной продукции.

Качество освещения напрямую связано с нормативной и испытательной базой, именно там и проводится верификация систем в специализированных лабораториях.

Проблемы в освещении, связанные с безопасностью, качеством освещения и другие, широко освещаются в научном мире, многие вопросы хорошо проработаны и обсуждены. Так общеизвестно, что недостаточный уровень освещения может привести к развитию миопии, формированию неправильной осанки и развитию сколиоза у детей. С другой стороны, воздействие чрезмерно ярким светом (независимо от типа источника света) на кожу может привести к ожогу различной степени тяжести, а в случае воздействия на зрительный орган – к обратимой (временной) или необратимой потере зрения (ослепленю). Характер негативных последствий зависит не только от интенсивности облучения, но также от спектра и времени облучения. Например, инфракрасное излучение может приводить к помутнению хрусталика глаза (ИК-катаракта), ультрафиолетовое излучение – к повреждению роговицы (светокератит) и хрусталика глаз (УФ-катаракта), ожогу и нарушению структуры кожных покровов (УФ-эритема и эластоз), синий свет – к повреждению сетчатки глаза (светоратинит) и снижению уровня гормона мелатонина в крови, что проявляется в виде нарушений сна, утомляемости, депрессивного синдрома, десинхроноза и т.п.

В данной области в Казахстане действует СанПин (исследования проводились при методической и материальной помощи проекта ПРООН), основные положения которого позволяют использовать LED светильники, как в школьном, так и дошкольном образовании, и соответствуют нормативным документам международного энергетического агентства (МЭА), которые апробированы также и в России.

Стандарт ИЕС 62471 (ГОСТ Р МЭК 62471) [2] содержит руководство по оценке фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем, включая светильники, устанавливает пределы облучения, справочную технику измерения и схему классификации для оценки и контроля светобиологической опасности от всех электрически не связанных широкополосных источников оптического излучения, включая светодиоды, кроме лазеров с длиной волны от 200 нм до 3000 нм.

В соответствии со стандартом ИЕС 62471 источники оптического излучения делятся на 4 группы риска по степени фотобиологической опасности:

Группа риска 0 – светильники, которые не представляют никакой фотобиологической опасности;

Группа риска 1 – светильники, которые не представляют какой-либо опасности из-за нормальных поведенческих ограничений человека от воздействия источника света;

Группа риска 2 – светильники, которые не представляют никакого риска из-за инстинктивной реакции, при которой отводится взгляд от источника света, очень яркого или теплового;

Группа риска 3 – устройства, которые представляют риск даже при кратковременном воздействии. Использование для общего освещения не допускается.

Для определения группы риска в соответствии со стандартом ИЕС 62471 вначале производится «взвешивание» при помощи соответствующих спектров действия  $S_{UV}(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$  и  $R(\lambda)$  измеренной спектральной облученности<sup>1</sup> ( $E_\lambda$ ) и спектральной энергетической яркости<sup>2</sup> ( $L_\lambda$ ) источника света на определенном расстоянии<sup>3</sup> и рассчитываются следующие значения:

– эффективной энергетической облученности для опасности актиничного УФ-излучения ( $E_U$ ):

$$E_U = \sum_{200}^{400} E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

– эффективной энергетической облученности для опасности ближнего УФ-излучения ( $E_{UVA}$ ):

$$E_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_\lambda \cdot \Delta\lambda$$

– эффективной энергетической облученности для ИК опасности для глаз ( $E_{IR}$ ):

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_\lambda \cdot \Delta\lambda$$

– эффективной энергетической яркости для опасности от синего света для сетчатки ( $L_B$ ):

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

<sup>1</sup>Спектральная облученность (spectral irradiance)  $E_\lambda$ : Отношение лучистой мощности  $d\Phi(\lambda)$  в интервале длин волн  $d\lambda$ , падающую на элементарную поверхность, к площади  $dA$  этого элемента и интервалу длин волн  $d\lambda$ :  $E_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda}$ . Единица измерения: Вт·м<sup>-2</sup>·нм<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup>Спектральная энергетическая яркость (spectral radiance)  $L_\lambda$ : Отношение лучистой мощности  $d\Phi_\lambda$ , проходящей через эту точку в телесном угле  $d\Omega$  в данном направлении, к произведению интервала длин волн, площади сечения пучка на плоскость, перпендикулярную этому направлению и содержащую данную точку, и телесного угла  $d\Omega$ :  $L_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda}$ . Единица измерения: Вт·м<sup>-2</sup>·нм<sup>-1</sup>·ср<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup>Стандарт ИЕС 62471 предписывает для ламп общего назначения проводить измерения на расстоянии, соответствующем освещенности 500 лк. Для других типов источников света – на фиксированном расстоянии 200 мм.

– эффективной энергетической облученности для ИК опасности для глаз ( $E_{IR}$ ),

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

– эффективной энергетической яркости для тепловой опасности для сетчатки ( $L_R$ ):

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

– эффективной энергетической яркости для тепловой опасности для сетчатки (слабый визуальный стимул) ( $L_{IR}$ ):

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Далее полученные вышеописанным образом значения параметров  $E_S, E_{UVA}, E_{IR}, E_B, L_B, L_R, L_{IR}$  сравниваются с предельными значениями облучения, приведенными в таблице 1 (стандарта IEC 62471).

Таблица 1 – Ограничения эмиссии для групп риска ламп с непрерывной волной

Риск	Спектр действия	Символ	Пределы эмиссии			Единица измерения
			Свободный	Малый риск	Умеренный риск	
Активичный УФ	$S_{UV}(\lambda)$	$E_S$	0,001	0,003	0,03	Вт·м <sup>-2</sup>
Ближний УФ		$E_{UVA}$	10	33	100	Вт·м <sup>-2</sup>
Синий свет	$B(\lambda)$	$L_B$	100	10000	4000000	Вт·м <sup>-2</sup> ·ср <sup>-1</sup>
Синий свет, небольшой источник	$B(\lambda)$	$E_B$	1,0*	1,0	400	Вт·м <sup>-2</sup>
Тепловой для сетчатки	$R(\lambda)$	$L_R$	28000/α	28000/α	71000/α	Вт·м <sup>-2</sup> ·ср <sup>-1</sup>

Тепловой для сетчатки, слабый визуальный стимул**	$R(\lambda)$	$L_{IR}$	6000/α	6000/α	6000/α	Вт·м <sup>-2</sup> ·ср <sup>-1</sup>
ИК излучение для глаз		$E_{IR}$	100	570	3200	Вт·м <sup>-2</sup>

\*Небольшим определен источник с  $\alpha < 0,011$  радиан. Усредненное поле зрения при 10000 с составляет 0,1 радиан  
 \*\*С учетом оценки источников не общего назначения

Таким образом, к группе риска 0 относятся источники света, которые не создают:

- опасность от активичного УФ ( $E_S$ ) при облучении в течение 8 ч (30000 с);
- опасность от ближнего УФ ( $E_{UVA}$ ) в течение 1000 с (около 16 мин);
- опасность от синего света для сетчатки ( $L_B$ ) в течение 10000 с (около 2,8 мин);
- тепловую опасность для сетчатки ( $L_R$ ) в течение 10 с;
- ИК опасность для глаз ( $E_{IR}$ ) в течение 1000 с.

К группе риска 1 (небольшой риск) – такие источники света, которые превышают пределы для группы 0, но не создают:

- опасность от активичного УФ ( $E_S$ ) при облучении в течение 10000 с;
- опасность от ближнего УФ ( $E_{UVA}$ ) в течение 300 с;
- опасность от синего света для сетчатки ( $L_B$ ) в течение 100 с;
- тепловую опасность для сетчатки ( $L_R$ ) в течение 10 с;
- ИК опасность для глаз ( $E_{IR}$ ) в течение 100 с.

К группе риска 2 (средний риск) относятся источники света, превышающие пределы для группы риска 1, но не создающие:

- опасность от активичного УФ ( $E_S$ ) при облучении в течении 1000 с;
- опасность от ближнего УФ ( $E_{UVA}$ ) в течение 100 с;
- опасность от синего света для сетчатки ( $L_B$ ) в течение 0,25 с (возникновение отвращения);
- тепловую опасность для сетчатки ( $L_R$ ) в течение 0,25 с (возникновение отвращения);
- ИК опасность для глаз ( $E_{IR}$ ) в течение 10 с.

К группе риска 3 (большой риск) относятся источники света, превышающие пределы для группы риска 2 (умеренный риск).

Применительно к светодиодным источникам света, основным видом фотобиологической опасности, согласно CIE S009 и IEC 62471:2009, является опасность синего света. В этом случае отнесение светодиодов к той или иной группе риска определяется временем экспозиции, в течение которого сетчатка подвергается облучению синим светом:

Группа риска 0 (RG0) – время экспозиции превышает 10000 с;

Группа риска 1 (RG1) – время экспозиции превышает 100 с;

Группа риска 2 (RG2) – время экспозиции превышает 0,25 с;

*Способы минимизации фотобиологической опасности светодиодов.*

Если существует проблема фотобиологической безопасности светодиодного света и изучены ее спектрорадиометрические свойства и параметры, то мы можем изменить конструкцию светодиода и частично или полностью нивелировать эту проблему.

Опасность представляет синий свет с длинами волн 450–470 нм. Отсюда следует, что можно, например, подавить излучение в данном диапазоне длин волн посредством соответствующих цветных светофильтров, либо и вовсе отказаться от использования синих светодиодов для накачки люминофора и перейти, к примеру, на фиолетовые светодиоды.

Авторы [3] высказали предположение, что высокую цветовую температуру светодиодного светильника можно уменьшить до 2700–4000 К при помощи цветных светофильтров. В качестве таких светофильтров могут выступать светорассеиватели, или же линзы, изготавливаемые по тем же технологиям, что и используемые в производстве полимерных солнцезащитных очков и, отчасти, искусственных хрусталиков глаз. Отмечается, что применение такой спектральной коррекции не приведет к существенным потерям света, так как «вес» сине-голубой части спектра излучения в функции  $V(\lambda)$  незначителен. По расчётам, применение указанных светофильтров практически не повлияет на индекс цветопередачи Ra белых светодиодов.

Другим перспективным способом решения проблемы фотобиологической безопасности светодиодного света может стать технология удаленного люминофора, когда синий светодиод и люминофор, преобразующий его свет, разнесены в пространстве друг от друга. Люминофор может наноситься на стекло, пластик или внедряться в прозрачную керамику и пластик. Как правило, для повышения общего выхода света в удаленный люминофор добавляют квантовые точки, например, на основе материалов CdSe/CdS/ZnS и т.п.

Фирма Electrospeil на базе синего, зелёного и красного люминофоров разработала инновационный «вольфрамовый» светодиод. Светодиод по спектру излучения имитирует обычную вольфрамовую нить лампы накаливания. Цветовая температура составляет около 3000 К, индекс цветопередачи – более 95.

*Требования к этикетке светотехнической продукции IEC TR 62471-2.* Технический отчет IEC TR 62471-2 содержит требования к этикетке светотехнической продукции в зависимости от отнесения ее к

той или иной группе риска, как отражено в таблице 6 отчета IEC 62471. На рисунке 2 [4] представлен пример оформления этикетки для светового прибора, относящегося к группе риска RG2.

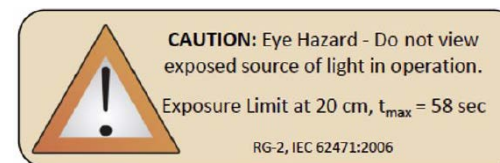


Рисунок 2 – Пример оформления этикетки для светового прибора, относящегося к группе риска RG2 в соответствии с IEC TR 62471-2

*Требования к маркировке продукции.* Согласно стандарту IEC 60598-1 [5] если УФ-излучение источника света превышает величину 2 мВт/к/м, что соответствует предельному значению эффективной энергетической облученности для опасности актиничного УФ-излучения 0,001 Вт×м<sup>2</sup> (группа риска RG0), источник света должен иметь маркировку, показанную на рисунке 3, а.



Рисунок 3 – Обозначение на светильнике в соответствии с IEC 60598-1

Данный символ указывает на то, что источник света не может использоваться в открытых светильниках без защитного стекла. В соответствии с пунктом 4.24 стандарта IEC 60598-1 необходимо использовать такое защитное стекло, которое обеспечивало бы соблюдение требований по УФ-излучению для группы риска RG0. Таким образом, можно утверждать, что светильник в соответствии с IEC 60598-1 уже обеспечивает уровень ультрафиолетового облучения, соответствующей RG0.

В новой версии стандарта IEC 60598-1 [5] установлены требования к светильникам в соответствии с техническим отчетом IEC/TR 62778. Требование к маркировке светильника с источником света, относящимся к

группе риска RG1 и RG2, сняты. Во всех остальных случаях в соответствии с IEC/TR 62778 [6] необходимо вычислить расстояние, на котором будут выполняться граничные условия между RG1 и RG2.

Если расстояние превышает 200 мм, то производитель обязан добавить в инструкцию по эксплуатации светильника предложение: *«the luminaire should be positioned so that prolonged staring into the luminaire at a distance closed than Xm is not expected»* (светильник должен быть расположен таким образом, чтобы длительный взгляд на светильник на расстоянии, меньшем чем Xm, не ожидается). Здесь Xm – это расстояние между источником света и глазом наблюдателя. Если существует потенциальная возможность прямого взгляда наблюдателя на светильник, то на светильник должен быть нанесен специальный символ (рисунок 3,б). Данный символ должен быть также нанесен на осветительные приборы.

*Повышение качества энергоэффективных приборов и оборудования, проведение сертификации, маркировки и верификации на базе испытательных лабораторий.* Следует также отметить, что в настоящее время в Республике Казахстан отсутствуют аккредитованные испытательные лаборатории для проведения испытаний светотехнической продукции на фотобиологическую безопасность.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выявлено, что любые мощные источники искусственного освещения, независимо от их технологии производства, при неправильном использовании могут представлять потенциальную опасность для зрения, кожи и циркадианной системы человека. Необходимым и достаточным условием для этого является превышение дозы излучения, определенного критического уровня. Чем больше энергетическая мощность и продолжительность воздействия оптического излучения, тем более выраженные дегенеративные изменения происходят в облучаемых биологических тканях организма.

Для того, чтобы исключить неправильное и небезопасное использование световых устройств, продукция должна удовлетворять требованиям международных стандартов по оценке фотобиологической безопасности: IEC/EN 62471, IEC/TR 62778 и др. В зависимости от результатов испытаний световая продукция должна быть отнесена к одной из четырех групп риска: RG0 (риск отсутствует), RG1 (минимальный риск), RG2 (средний риск) и RG3 (высокий риск). Информация о группе риска RG1, 2, 3 должна быть нанесена на этикетку, предназначенную каждому светотехническому изделию.

При использовании изделий, относящихся к высокой группе риска, необходимо располагать их на удаленном расстоянии от наблюдателя,

использовать защитные стекла, или экранировать от прямого попадания света в глаза наблюдателя и т.д. При соблюдении требований стандартов вышеуказанных стандартов светодиоды абсолютно безопасны! Согласно IEC 62471 светодиоды не более опасны, чем люминесцентные лампы. Все зависит от конкретной конструкции световых приборов, мощности излучения, углов вывода света и т.п. Поэтому, ни о каком запрете светодиодов, возврате к традиционным источникам света и ревизии уже реализованных проектов не может быть и речи.

Следует отметить, что, по имеющейся информации, вышеуказанные стандарты в настоящее время в Республике Казахстан отсутствуют. Поэтому, в качестве первостепенного мероприятия необходимо в кратчайшие сроки принять в Республике Казахстан вышеуказанные международные стандарты. Разработка других нормативно-правовых актов не целесообразна.

Целесообразно для повышения качества энергоэффективных приборов и оборудования, проведение сертификации, маркировки и верификации создать такую специальную испытательную лабораторию на территории Казахстана. После создания испытательной лаборатории следует предусмотреть проведение межлабораторных сличений между испытательными лабораториями Казахстана, России, Беларуси (т.к. они входят в ЕАЭС) и другими странами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Mattsson, M. O., Jung, Th. A., Proykova, A., Behar-Cohen, F.** Health effects of artificial light [Текст]. – European Union: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), 2012. – ISSN: 1831-4783.

2 ГОСТ Р МЭК 62471 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем» [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2013.

3 **Зак, П. П., Островский, М. А.** Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков [Текст]. // Светотехника, 2012. – № 3. – С. 4–6.

4 LED Lights and Eye Safety Part II: Blue light hazards. / Lighting Global [Электронный ресурс]. // Eco Design Notes, 2015. – Issue 5. – Режим доступа: [https://www.lightingglobal.org/wp-content/uploads/2013/12/Issue\\_5\\_EyeSafety2\\_EcoNotes.pdf](https://www.lightingglobal.org/wp-content/uploads/2013/12/Issue_5_EyeSafety2_EcoNotes.pdf)

5 ГОСТ IEC 60598-1-2013 «Светильники» – Ч.1. – «Общие требования и методы испытаний» [Электронный ресурс]. – Минск : Госстандарт, 2013. – Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/2537>

6 IEC/TR 62778:2014 «Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires» [Электронный ресурс]. – International Standart: Technical Report, 2014. – Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/7427>

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*С. П. Инютин<sup>1</sup>, С. С. Нурғалиев<sup>2</sup>, Г. А. Джапарова<sup>3</sup>, А. С. Айнагулова<sup>4</sup>*

**Жарықтандыру жүйелері үшін энергия тиімділікті жабдықтар сапасы, жарық техникалық өнімнің фотобиологиялық қауіпсіздігі мен таңбалау мәселелері**

<sup>1,2</sup>БҰҰ Нұр-Сұлтан өкілдігі,  
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;  
<sup>3,4</sup>Бизнес және ақпараттық технологиялар факультеті,  
Тұран-Астана университеті,  
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*S. P. Inyutin<sup>1</sup>, S. S. Nurgaliyev<sup>2</sup>, G. A. Japarova<sup>3</sup>, A. S. Ainagulova<sup>4</sup>*

**Quality of energy efficient equipment for lighting systems, issues of photobiological safety and labelling of lighting products**

<sup>1,2</sup>UN Office in Nur Sultan,  
Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;  
<sup>3,4</sup>Faculty of Business and Information Technologies,  
Turan-Astana University,  
Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Бұл жұмыста әр түрлі жарық көздерінің фотобиологиялық қауіпсіздігі мәселелері (жарық диодтарын қоса алғандағы) қарастырылды, қолданыстағы стандарттар мен ережелер талдаудан өткізілді, қауіпсіз жарық техникалық өнімді таңбалау жүйесі қарастырылған. Қазақстан Республикасындағы жарық техникалық өнімнің сапасын және энергияны үнемдеу потенциалын арттыру маңызды мәселелері үшін сертификаттау мен тексерудің тұрақты жүйесі жасалмай шешу мүмкін емес. Бұл мәселені шешу үшін техниканың соңғы сөзінен құралған және әдістемелік қамтамасыздандырылған тестілеу зертханаларының желісін құру қажет.*

*In this work the issues of photobiological safety of various light sources (including LED) are considered, current standards and norms are analyzed, and the system of lighting products labelling is examined. A very important problem of quality increase of lighting products and energy saving potential in the Republic of Kazakhstan cannot be solved without creating of a stable system of certification and verification. For this purpose, it is recommended to make a network of testing laboratories equipped with the latest facilities and having proper methodologies.*

**Д. Д. Исабеков<sup>1</sup>, О. М. Талипов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>доктор PhD, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>доктор PhD, ассоц. профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>Dauren\_pvl2012@mail.ru; <sup>2</sup>talipov1980@mail.ru

## **МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К ЯЧЕЙКАМ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

*В настоящей статье авторы предлагают использовать магниточувствительные элементы на базе герконов для максимальной токовой защиты вместо традиционных трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками.*

*Ключевые слова: максимальная токовая защита, геркон, индукция магнитного поля, комплектное распределительное устройство, реле.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

На международных конференциях по большим энергетическим системам (СИГРЭ) неоднократно отмечалось [1, 2, 3], что одной из актуальных задач современной электроэнергетики является разработка релейной защиты (РЗ) без трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками, имеющих общепризнанные недостатки [4]. Как известно, сейчас помимо токовых защит, выполненных на электромеханической базе широко внедрены и другие защиты, однако надёжность их срабатывания и несрабатывания в ряде случаев оказывается недостаточной, а для достижения эффекта в её повышении необходимо дублирование, и дублироваться должно и то и другое. При этом все дублирующие друг друга защиты и преобразователи тока должны иметь разные принципы действия. Для реализации максимальной токовой защиты (МТЗ) представлено использование герконов, так как они в сравнении с другими магниточувствительными элементами обладают известными для РЗ преимуществами [5, 6]. На основе герконов уже созданы

и разработаны ряд устройств и конструкций различных токовых защит для электроустановок, подключенных к ячейкам КРУ [7–10].

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Максимальная токовая защита, предназначенная для защиты электроустановок, подключенных к примеру, к ячейке КРУ серии К-63 по сути из себя представляет устройство в своем составе содержащее герконы 1, которые с помощью первых хомутов 2 закреплены на планке 3 и расположены под разными углами к плоскости поперечного сечения токоведущей шины (на рисунке 1 не показана) (рис.1).

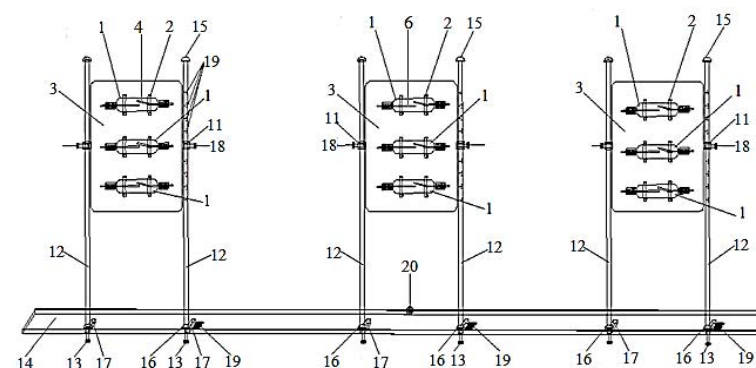


Рисунок 1 – Устройство максимальной токовой защиты

Первый контактный сердечник 4 герконов 1 подключен к полюсу «плюс» источника постоянного оперативного тока (ИП) 5 (рис.2). Вторым контактным сердечником 6 герконов 1 присоединен к первому выводу первого (РВ1), второго (РВ2) и третьего (РВ3) реле времени 7. Второй вывод данных реле 7 подключен ко второму выводу первого (РП1), второго (РП2) и третьего (РП3) промежуточного реле 8, которые посредством первого (РУ1), второго (РУ2) и третьего (РУ3) указательного реле 9 (подключенные ко второму выводу первого (РП1), второго (РП2) и третьего (РП3) промежуточного реле 8) присоединены к катушке отключения выключателя (КО) 10. Планка 3 закреплена с помощью вторых хомутов 11 на ходовых осях 12, посредством первых винтов 13 на пластине 14 и располагается напротив токоведущей шины с соблюдением минимально допустимого безопасного расстояния по ПУЭ, равного 120 мм. (для электроустановок с напряжением U=10 кВ) от них (рис.2). Ходовые оси 12 имеют на верхнем конце ограничительную шайбу 15, а на нижнем конце – фиксирующую шайбу 16. Планка 3 вместе

с герконами 1 перемещается до токоведущих шин по горизонтали вдоль прорезей 17 пластины 14, посредством первых винтов 13. Перемещение по вертикали планки 3 осуществляют посредством вторых винтов 18. На ходовых осях 12 и на пластине 14 имеется шкала перемещения 19. Крепится и устанавливается пластина 14 внутри кабельного отсека ячейки КРУ с помощью третьего винта 20.

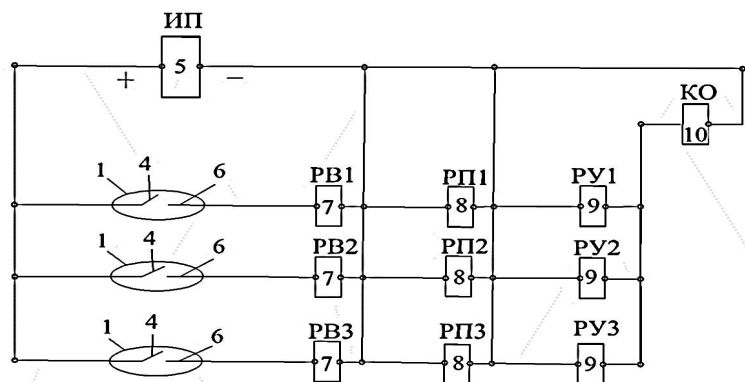


Рисунок 2 – Структурная схема максимальной токовой защиты

Представленная максимальная токовая защита работает следующим образом. Перед установкой элементов ее схемы в ячейку КРУ рассчитывают необходимое расстояние от токоведущей шины до герконов 1 и угол, под которым эти герконы должны находиться по отношению к силовым линиям магнитного поля, создаваемого током в токоведущей шине и по табличным данным, принимают их, с заданной магнитодвижущей силой срабатывания (рис.1). Регулирование параметров срабатывания МТЗ осуществляют путем приближения к токоведущей шине планки 3 с герконами 1. При этом для одной защиты используют один из трёх герконов 1. Перемещение по горизонтали планки 3 осуществляют с помощью первых винтов 13 (ослаблением и затягиванием их) вдоль прорезей 17 пластины 14. Перемещение по вертикали планки 3 осуществляют с помощью вторых винтов 18, ослаблением или затягиванием вторых хомутов 11 к ходовым осям 12 пластины 14. Необходимое расстояние перемещения контролируется по шкале перемещения 19.

При возникновении междуфазных коротких замыканий на электроустановках, подключенных к ячейке КРУ индукция магнитного поля, действующая на герконы 1 становится достаточной для их срабатывания (рис.2). При этом замыкается первый контактный сердечник 4 герконов

1, подключенный к полюсу «плюс» источника постоянного оперативного тока 5, и сигнал со второго контактного сердечника 6 с выдержкой времени, равной 0,02 с. поступает на вход первого, второго или третьего реле времени 7. Данные реле 7 отсчитав выдержку времени, равной 0,01 с. подают сигнал на первое, второе или третье промежуточное реле 8, имеющих выдержку времени, равной 0,09 с. и которые через первое, второе или третье указательное реле 9 подают сигнал на катушку отключения выключателя 10 электроустановки.

### ВЫВОДЫ

В этой статье представлено, что отсутствие использования дорогостоящих и громоздких по весогабаритным параметрам трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками отвечает актуальному вопросу в релейной защите – ресурсосбережению и позволяет использовать представленную максимальную токовую защиту, отличающуюся минимальными экономическими затратами, простотой эксплуатации и удобством обслуживания – для защиты электроустановок, подключенных к ячейке КРУ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Дьяков, А. Ф. Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по материалам 39-й сессии СИГРЭ, Париж). – Энергетика за рубежом, 2004, № 4–5.
- 2 Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т. (Cooper Power Systems, США). Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского. Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем. – Сборник докладов конференции CIGRE – М. : Научно-инженерное информационное агентство, 2009, – С. 49–59.
- 3 Клецель, М. Я. Основы построения релейной защиты на герконах. Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем. Сборник докладов конференции, CIGRE, Екатеринбург, 2013.
- 4 Казанский, В. Е. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М. : Энергия, 1969, 184 с.
- 5 Клецель, М. Я. Мусин В. В. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока. – Электротехника, 1987, № 4, – С. 11–13.
- 6 Клецель, М. Я., Мусин, В. В. Выбор тока срабатывания максимальной токовой защиты без трансформаторов тока на герконах // Промышленная энергетика – 1990. – № 4. – С. 32–36.
- 7 Патент № 2704792 Российской Федерации, МПК H02H 3/08. Устройство для токовой защиты электроустановки / М. Я. Клецель,



Д. Д. Исабеков, А. П. Кислов, И. И. Шолохова; опубл. 31.10.19, Бюл. № 31. – 10 с.

8 Патент № 2670720 Российской Федерации, МПК G01R 33/02. Устройство для крепления герконов в ячейках комплектных распределительных устройств / М. Я. Клецель, О. М. Талипов, Д. Д. Исабеков, И. И. Шолохова; опубл. 24.10.18, Бюл. № 34. – 8 с.

9 Патент № 2678189 Российской Федерации, МПК H02N 3/08. Устройство для токовой защиты электроустановок / М. Я. Клецель, К. И. Никитин, Б. Е. Машрапов, Д. Д. Исабеков; опубл. 24.01.19, Бюл. № 3. – 12 с.

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

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Д. Д. Исабеков<sup>1</sup>, О. М. Талипов<sup>2</sup>*

**Жинақталған тарату құрылғыларға қосылған электрқондырғылар үшін максималды ток қорғау**

<sup>1,2</sup>Энергетикалық факультет,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*D. D. Issabekov<sup>1</sup>, O. M. Talipov<sup>2</sup>*

**Maximum current protection of electrical installations connected to switchgear cubicles**

<sup>1,2</sup>Faculty of Energy Engineering,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада авторлар ферромагниттік өзегі бар дәстүрлі ток трансформаторларының орнына максималды ток қорғауға арналған геркон мен негізделген магниттік сезімтал элементтерді қолдануды ұсынады.*

*In this article, the authors propose using magnetically sensitive elements based on reed switches for maximum current protection instead of traditional current transformers with ferromagnetic cores.*

ГРНТИ 14.35.09

**В. Л. Исаев<sup>1</sup>, С. Н. Камарова<sup>2</sup>, С. К. Абильдинова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Энергетические системы», Факультет «Энергетики, автоматизации и телекоммуникации», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100028, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>докторант, кафедра «Промышленная теплотехнология», Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>доктор PhD, доцент, кафедра «Промышленная теплотехнология», Институт теплоэнергетики и теплотехники, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>isaevvalerie@gmail.com; <sup>2</sup>cfekt.rfvfhjdf@mail.ru ; <sup>3</sup>saule18kz@mail.ru

## **ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ «СИТОВЫЙ АНАЛИЗ УГЛЯ» ПО МЕТОДОЛОГИИ АКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМНЫХ ОПОРНЫХ ЗНАНИЙ**

*В статье предложена дидактическая учебная разработка темы «Ситовый анализ угля» согласно методологии активного освоения для системных опорных знаний, выполненная опорным конспектом. Особенностью разработки является то, что учебный материал структурирован обучаемым самостоятельно по этапам познания данной темы, но под руководством преподавателя, логически осмыслен, применен в решении практической задачи для привития навыков и развития профессиональных умений. Самоконтроль результата освоения темы обучаемый проводит на последнем этапе составлением отображения в виде аналогов из смежных технических знаний, обеспечивая междисциплинарную взаимосвязь. Это повышает качество обучения по профессии.*

*Ключевые слова: методология освоения, опорные знания, способы деятельности, опорный конспект, ситовый анализ.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Качество образования формируют в учебном процессе главным образом обучающийся и педагог по индивидуальным целеустановкам: обеспечить системные, долговременные и переосмысленные знания, приобрести навыки по приложению новых знаний к решению практических задач по дисциплинам выбранной специальности, развить умения по применению

профессиональных навыков для производственной деятельности. Самостоятельная активная работа познания при сознательной мотивировке к системным знаниям может быть успешной при востребованности обществом и производств в высоком качестве образования [1, 2, 3].

При выборе обучаемым целеустановки на качество образования из триединой мотивации к активному познанию: стипендия, диплом, качество образования, формируется прогресс общества. Очевидно, что акценты в триединой мотивации, например, диплом, стипендия, качество образования, формирует в перспективе регресс [4].

Выбор педагога на качество образования всегда является приоритетной целеустановкой и поддерживается в первую очередь индивидуальной или общепринятой методологией познания на базе классической дидактической школы [2], техническим оснащением учебного процесса и различными инструментами мотивации. Важным из них является престиж профессии педагога, признание и адекватное отношение общества к качественному образованию формируемого педагогом.

В связи с приоритетной целеустановкой на повышение качества знаний педагоги совершенствуют дидактические положения формированием мотивации учения [5], созданием учебных проблемных ситуаций [6], использованием интерактивного обучения [7] и другими установками. Известные дидактические новинки являются примерами частных решений в развитии классической дидактики [2].

Известны методики активизации учебного процесса формированием опорных знаний опорным конспектом [8, 9, 10, 11, 12, 13] с использованием принципа блочных знаний В. Ф. Шаталова. Они расширяют возможности классической дидактики, обеспечивают концентрацию знаний и качество познания.

Таксономия Блума В. С. [8] является обобщенной дидактикой с приоритетом на самостоятельное осмысление базовых знаний применительно к рассматриваемой новой теме, активного освоения новых знаний с развитием навыков и профессиональных умений. При этом таксономия упускает известный фактор активизации познания – чувственное воздействие, образное представление учебного материала [2] и вовлечение воспитательного фактора при самоконтроле результатов познания (вложенного труда) на развитие личности обучаемого. Указанные факторы получили развитие в методологии активного освоения для системных опорных знаний (СОЗ) [12]. Примером ее применения является дидактическая учебная разработка темы «Ситовый анализ угля».

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основными целями образовательной программы по специальности 5В071700 «Теплоэнергетика» являются подготовка конкурентоспособного, квалифицированного специалиста, обладающие широким сектором компетенций. Для современной энергетики требуются профессионалы, способные быстро и однозначно решать сложные производственные задачи при внезапно изменяющихся условиях [13].

Привитию умений быстрого восприятия информации, принятию адекватных решений на сформированных системных знаниях для СОЗ с инструментом опорного конспекта, который составляется обучаемым самостоятельно под руководством преподавателя и обязует изучение, осмысление, самоконтроль знаний, развитие навыков и умений владения учебным материалом по каждой теме дисциплины. Такая методология активизирует системное освоение, формирует способности и квалификацию обучаемого к решению быстрых решений, адекватных производственной ситуации [15].

Применение данной методология активного освоения для СОЗ позволяет обеспечить высокую мобильность выпускников в изменяющихся условиях рынка труда и подготовку высококвалифицированного специалиста.

В опорном конспекте освоенные знания структурируются по этапам методологии познания темы согласно принципов познания и основаны на системном единстве следующих этапов освоения:

1 Формирование исходных знаний. Восстанавливаем, формируем имеющуюся базу знаний, на основе которой можно строить новые знания при изучении темы.

2 Изучение нового материала. Изучаем, осмысливаем новые знания, формируя их на имеющиеся базовые понятия.

3 Анализ. Полученные новые знания разделяем на значимые смысловые элементы, распределяем по логическим системным взаимосвязям. Выявленные частные случаи исследуем для установления частных закономерностей, скрытых в общих формах.

4 Применение новых опорных знаний. Прививаем навыки в практическом применении новых знаний. Решаем технические задачи и примеры по определению параметров в соответствии с условиями конкретных исходных данных. Анализируем полученные искомые значения.

5 Синтез. Значимые смысловые элементы, разложенные по логическим системным взаимосвязям объединяем в новую форму опорного знания, проявляя самостоятельные творческие мышление. Нарбатываем навыки и умения в решении конкретных технических задач (на СРСП, СРС).

6 Самоконтроль освоения темы. Формирование аналогов опорного знания обеспечивается мысленными образами в виде отображения, визуализации,

построением модели полученного знания. Этим подготавливается база знаний для изучения последующей темы.

Пример составления опорного плана конспекта «Ситовый анализ угля» по методологии активного освоения для системных опорных знаний.

Цель занятия: Определение фракционного состава твердого топлива.

1 Формирование исходных знаний.

Твердое топливо [16] используется в качестве энергетического топлива, технологические схемы и процессы позволяют на основе углей производить продукцию различного назначения [17]. Методами механических испытаний углей определяются такие показатели качества твердого топлива, как гранулометрический состав, обогатимость, содержание минеральных примесей (породы) [16, 17].

Размышления и выводы: Скорость полного сгорания зависит от различных факторов, в том числе от гранулометрического состава, который формируется ситовым анализом [17]. Постановка темы актуальна.

2 Изучение нового материала. Важнейшими теплотехническими характеристиками топлива являются теплота сгорания, выход летучих, влажность, свойства коксового остатка [16, 17].

На ТЭС топливо предварительно измельчается до пылевидного состояния, для превращения крупных кусков угля в пригодную для сжигания угольную пыль [17]. Тонкость помола пыли оценивают при ситовом анализе величиной полного остатка угля на сите с размером ячеек 90 мкм.

Ситовый анализ проведен на лабораторной установке по исследованию процессов размолта твердых топлив и определение качественных характеристик угольной пыли в Алматинском университете энергетики и связи с применением виброгрохота грохота AS 200 RETSCH с стандартными ситами (71, 90, 200, 500 и 1000 мкм). Описание ситового анализа представлены в [18, 20].

Качество готовой пыли, обеспечивающее эффективное ее сжигание, определяется, прежде всего, тонкостью ее помола, поверхностью которую оценивают по ее гранулометрическому составу на основе ситового анализа [18].

Для ситового анализа отобрана пыль Карагандинского угля весом  $m=50$  гр. просеяли в течение 20 мин. Для получения полной зерновой характеристики пыли использовали значения полученные после просева: масса пыли взвешивания после каждой ситы  $m_{1000}=0,20$  гр.;  $m_{500}=0,22$  гр.;  $m_{200}=1,64$  гр.;  $m_{90}=8,98$  гр.;  $m_{71}=20,32$  гр.;  $m_{дно}=17,71$  гр. [21]. Общая масса угольной пыли  $m'$  после просева равен:  $m'=49,06$  гр, потери пыли составляют составило  $\Delta G_{расп}=1,88\%$ , что допустимо. Получены результаты:  $R_{1000}=0,4\%$ ; промежуточный фракционный остаток равен  $F_{500/1000}=0,44\%$ ;

$F_{200/500}=3,28\%$ ;  $F_{90/200}=17,96\%$ ;  $F_{71/91}=40,64\%$ ; величина прохода пыли данного размера  $D_{71}=35,4\%$  При расसेве через 5 сит получилось 100% [20]. Зерновая характеристика  $R_x$  выражает определенный физический закон дробления [18, 20].

Надежность воспламенения пыли непосредственно связана с величиной полного остатка пыли на сите с размерами ячеек 90 мкм ( $R_{90}$ ), а полнота ее выгорания – с наличием в пыли грубых фракций, характеризующихся величиной полного остатка на сите с размерами ячеек 200 мкм ( $R_{200}$ ), что определяет потери тепла, сопутствующие механическому недожогу топлива.

$R_{90}=22,08\%$ ,  $R_{200}=4,12\%$ , значения  $R_{90}$  и  $R_{200}$  соответствуют величинам  $R_{90}=15\div 40\%$  и  $R_{200}=1,3\div 13\%$ . Постоянный коэффициент отражающий тонкость помола:  $n=0,98$ , остаток на сите  $R_{71}=30,14\%$ ,  $R_{500}=0,88\%$  [22]. По результатам расчетов построена зерновая характеристика [20, 24].

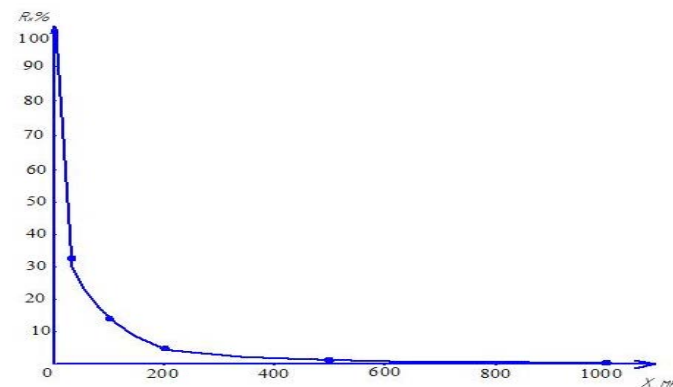


Рисунок 1 – Зерновая характеристика пыли

Размышления и выводы: Результаты ситового анализа позволяют выявить качество твердого топлива [18], степень обогащения и эффективное использования, а также для установления норм качества топлива для сжигания.

Качество угольной пыли оказывает решающее влияние на экономичность размолта и процесса сжигания, на работу отдельных элементов пылеприготовительной установки, топки и котельного агрегата в целом.

3 Анализ. Тонкость помола зависит от времени пребывания твердого топлива в мельнице, а производительность мельницы – от длины  $L_6$  и диаметра  $D_6$  барабана, физико-химических свойств топлива, требуемой тонкости помола [18, 19].

Общими техническими характеристиками топлив являются теплота сгорания, содержание золы, горючих летучих, азота, влажности и наличие серы [22, 23, 24].

Основным элементом горючей части топлива является углерод, который обуславливает выделение основного количества тепла. Чем больше углерода в твердом топливе, тем труднее оно воспламеняется [24]. Горючие летучие обеспечивают воспламенение углерода. При размоле угля потери горючих летучих для крупного гранулометрического состава меньше, чем мелкого. Это влияет на экономическую тонкость помола [20, 23, 25].

Кислород в угле является балластом и образует горючую массу топлива, который сравнительно мало снижает ее жаропроизводительность, однако высокая влажность топлива с большим содержанием кислорода обуславливает увеличение объема продуктов сгорания, из-за испарения влаги и снижения температуры, развиваемой при сжигании топлива [22].

**Размышления и выводы:** Размельчение угля до требуемого гранулометрического состава и формы частиц способствует улучшению однородности смесей, ускорению и повышению глубины протекания гетерогенных химических реакций повышению интенсивности сочетаемых с ним технологических процессов.

4 Применение новых опорных знаний. Пример 1. При размолу испытуемого топлива в лабораторной мельнице получена пыль с  $R_{90}^H = 53\%$ . Найти значение коэффициента  $k_{л.о.}$

Решение: Коэффициент размолоспособности по методике ВТИ определяют по формуле

$$k_{л.о.} = 1,96 \left[ \ln \left( 100 / R_{90}^H \right) \right]^{0,67}$$

Таким образом, размолоспособность испытуемого топлива составит

$$k_{л.о.} = 1,96 \left[ \ln \left( 100 / 52 \right) \right]^{0,67} = 1,475$$

Указанное топливо достаточно мягкое при размолу [23, 24].

**Размышления и выводы:** Рассмотрим влияние ситового состава угля на теплотворную способность остатков  $R_{71}$  и  $R_{1000}$  относительно остатка  $R_{90}$  ситового просеивания.

Пусть гранулометрический состав угольной пыли на основе ситового анализа:  $R_{71} = 40,64\%$ ,  $R_{90} = 17,96\%$ ,  $R_{1000} = 0,4\%$ .

Высшая теплота сгорания каждого из гранулометрического состава пылевого остатка:

$$Q_B^{71} = Q_B^P \cdot \frac{100 - W_{71}}{100 - W_P} = 14586 \cdot \frac{100 - 40,64}{100 - 39,0} = 14192,2 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_B^{90} = Q_B^P \cdot \frac{100 - W_{90}}{100 - W_P} = 14586 \cdot \frac{100 - 17,96}{100 - 39,0} = 889746 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_B^{1000} = Q_B^P \cdot \frac{100 - W_{1000}}{100 - W_P} = 14586 \cdot \frac{100 - 0,4}{100 - 39,0} = 23775,52 \text{ кДж/кг}$$

Снижение теплотворной способности пыли:  $Q_B^{90} > Q_B^{1000} > Q_B^{71}$ . Величина высшей теплоты сгорания гранулометрического состава  $R_{90}$  выше сравниваемых.

5 Синтез. В результате синтеза формируются требуемые свойства сжигаемой пыли по содержанию в каждой пылинке углерода, азота, серы, влажности, золы, летучих веществ. Для решения задач по сжиганию топлива необходимо сводить материальный баланс [22, 23].

Продуктами полного сгорания топлива – это двуокись углерода  $CO_2$ , сернистый газ  $SO_2$  и водяные пары  $H_2O$ , а компоненты продуктов сгорания азот  $N_2$  и избыточный кислород  $O_2$ , который содержится в продуктах сгорания топлива. Если процесс горения протекает не идеально, то улучшить сжигание можно увеличением количества воздуха относительно теоретически необходимого [23, 24].

При полном сгорании углерода образуется  $C + O_2 = CO_2 = 44,01 \text{ кг}$

$$\text{Или при сгорании } 1 \text{ кг C} + \frac{32}{12,01} \text{ кг O}_2 = \frac{44,01}{12,01} \text{ кг CO}_2$$

$$1 \text{ кг C} + 2,67 \text{ кг O}_2 = 3,67 \text{ кг CO}_2$$

Для получения продуктов сгорания в объемных единицах разделим полученную массу на плотность каждого газа:

$$1 \text{ кг C} + \frac{2,67}{1,428} \text{ O}_2 = \frac{3,67}{1,964} \text{ CO}_2, \text{ или } 1 \text{ кг C} + 1,866 \text{ м}^3 \text{ O}_2 = 1,866 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$$

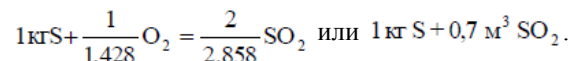
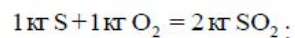
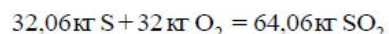
при сжигании  $C = 1 \text{ кг}$  требуется  $O_2 = 1,866 \text{ м}^3$  и образуется  $CO_2 = 1,866 \text{ м}^3$ .

При неполном горении C образуется:  $C + O_2/2 = CO$

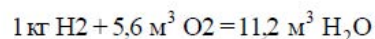
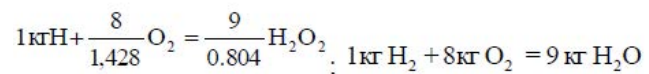
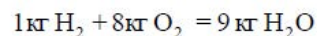
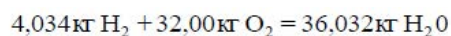
$$12 \text{ кг C} + 16 \text{ кг O}_2 = 28 \text{ кг CO}; 1 \text{ кг C} + 1,33 \text{ кг O}_2 = 233 \text{ кг CO}$$

$$12 \text{ кг C} + \frac{1,33}{1,428} \text{ O}_2 = \frac{2,33}{1,2250} \text{ CO}; 1 \text{ кг C} + 0,933 \text{ м}^3 \text{ O}_2 = 1,866 \text{ м}^3 \text{ CO}$$

т.е. при неполном сжигания 1 кг углерода в  $\text{CO}_2$  требуется  $\text{O} = 0,938 \text{ м}^3$  и образуется  $1,866 \text{ м}^3 \text{ CO}$  [25]. При горении S получаем:  $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$ ;



при полном сгорании  $\text{S} = 1 \text{ кг}$  необходимо  $\text{O} = 0,70 \text{ м}^3$  и образуется  $\text{SO}_2 = 0,70 \text{ м}^3$ .  
При окислении – горении водорода имеем:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ ;



т.е. при полном сгорании  $\text{H} = 1 \text{ кг}$  требуется  $\text{O} = 5,60 \text{ м}^3$  и образуется  $\text{H}_2\text{O} = 1,20 \text{ м}^3$ . [24].

**Размышления и выводы:** От тонкости помола зависит содержание в каждой частице угольной пыли углерода, наличие серы, азота, влажности, золы, горючих летучих веществ. Чем эффективнее гранулометрический состав топлива, тем быстрее воспламенение, устойчивее горение и интенсивней тепловыделение.

6 Самоконтроль освоения темы. Формирование аналогов опорного знания мысленными образами. 1. В зависимости от способа сжигания, типа топki формируется гранулометрический состав твердого топлива. В факельных топках пылевидное топливо сгорает во взвешенном состоянии. Такие топki работают с низкими коэффициентами избытка воздуха. Это позволяет сжигать разнообразные по качеству топлива с гранулометрическим составом 90 мкм. В слоевых топках производится слоевое сжигание кускового твердого топлива с размерами гранул 25–50 мм, мелкие фракции до 1 мм дожигаются в факеле топчного объема. В топках с псевдокипящим слоем сжигается угольная смесь с гранулами 2–12 мм в потоке воздуха, подаваемого снизу под колосниковую решетку. В топку подмешиваются песок, гранулированная зола, известняк. Сжигание топлива в присутствии катализаторов позволяет существенно улучшить его технологические, экономические и экологические характеристики.

2. Аналог влияния гранулометрического состава на потребительские свойства строительных материалов в смесях с цементом: просеянный песок применяют для штукатурки стен, но гравий, балласт используют для фундаментов.

#### **Размышления и выводы:**

Мыслеобразы показывают, что гранулометрический состав твердого топлива зависит от вида топчных устройств. Для эффективного осуществления процесса горения необходимо подобрать технологические и гранулометрические характеристики топлива.

Мыслеобраз «Ситовый анализ» обеспечивает связь с дисциплинами «Специальные вопросы сжигания топлива» и «Котельные установки», это позволяет обеспечить самоорганизацию и самоконтроль мыслительной работы по темам дисциплин специальностей на уровне чувственных и образных представлений для системных знаний.

#### **ВЫВОДЫ**

1 Гранулометрический состав угля – топлива для сжигания в котлах, влияет на интенсивность тепловыделения, зависит от способа сжигания, конструкции топki и назначения котла. Рассматриваемая тема актуальна.

2 Исследован учебный материал по теме «Ситовый анализ угля», построены системные опорные знания в виде опорного конспекта, получены навыки и выработаны умения в решении профессиональной задачи подготовки гранулометрического состава угля.

3 Опорный конспект формирует образное, системное, критическое мышление, логическую память, улучшает усвоение, повышает качество обучения.

4 Рассмотренный пример постановки учебного процесса способствует повышению качества образования.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Послание Главы Государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана от 02.09.2019 г.

2 **Ушинский, К. Д.** Человек как предмет воспитания: в 2-х т. / К. Д. Ушинский – М. : Гранд-Фаир, 2004 г – т.1: Человек как предмет воспитания // Опыт педагогической антропологии: – М. : Гранд-Фаир, 2004 г. – 576 с. – (из классического наследия педагогики)

3 **Исаев, В. Л.** Разработка, опыт применения опорных планов-конспектов для технических дисциплин. Монография // В. Л. Исаев; Карагандинский

Государственный Технический Университет. Караганда. – Изд-во КарГТУ, 2016. – 187 с.

4 **Исаев, В. Л.** Аспекты дидактики и опорный конспект СРСП, СРС по теме «Плоское движение твердого тела». Учебное пособие // В. Л. Исаев; Карагандинский Государственный Технический Университет. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2018. – 52 с.

5 **Маркова, А. П.** Формирование мотивации учения: Книга для учителя // А. П. Маркова, Т. А. Матис, А. Б. Орлов – М. : Просвещение, 1990. – 192 с. – (Психологическая наука-школе).

6 **Ильинская, И. А.** Проблемные ситуации и пути их создания на уроке. – М. : Педагогика. – 1995. – 140 с.

7 **Гейхман, Л. К.** Интерактивное обучение общению: подход и модель // Л. К. Гейхман. – Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2002. – 200 с.

8 **Bloom, B.S. et al.** Taxonomy of Educational Objectives: The David McKay Co Classification of Educational Goals. Handbook J; Cognitive Domain N. Y.: David McKay Co. 1956. – p. 187–215.

9 **Дьяченко, В. К.** Организационная структура учебного процесса и ее развитие. – М. : Педагогика. – 1989. – с. 159.

10 **Бабанский, Ю. К.** Избранные педагогические труды: научное издание // Ю. К. Бабанский; Сост. М. Ю. Бабанский. – М. : Педагогика, 1989, – 560 с.

11 **Исаев, В. Л.** Формирование креативного мышления и активизация учебного процесса по опорным конспектам для специальности «Теплоэнергетика» / В. Л. Исаев // Актуальные вопросы современности: Международный научный журнал. – 2014. – № 4(6), – Караганда. РИО «Болашак-Баспа», 2014. – С. 92–96.

12 **Исаев, В. Л.** Забытые дидактические принципы в кредитной системе. // Труды Респ. научно-технической конференций. Темиртау, 2014. – С. 214–217.

13 **Рахманова, Ю. И.** Формирование профессиональной компетенции энергосбережения у студентов энергетического факультета // Молодой ученый. – 2015. – № 21.1 – С. 64–65.

14 **Исаев, В. Л., Камарова, С. Н., Садвакасова, М. К.** Особенности опорного конспекта по дисциплинам теплоэнергетики. // Труды Респ. научно-технической конференций. Темиртау, 2014. – С. 225–229.

15 **Исаев, В. Л.** Методология активного освоения для системных опорных знаний. СИС KZ № 1466 от 25.01.2019.

16 **Белосельский, Б. С.** Технология топлива и энергетических масел // Б. С. Белосельский. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 340 с.

17 **Жуков, Н. П., Чех, А. С. др.** Определение гранулометрического состава твердых топлив ситовым методом: лабораторная работа // Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та., 2007. – с. 12.

18 **Сидельковский, П. Н., Юренев, В. Н.** Котельные установки промышленных предприятий // Учебник для вузов. – 3-е изд, перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.

19 **Лебедев, А. Н.** Подготовка и разmol топлива на электростанциях. – М. : Энергия, 1969. – 520 с.

20 **Камарова, С. Н. Абильдинова, С. К.** Оптимизация затрат электроэнергии на пылеприготовление в шаробарабанных мельницах Ш-25А ТЭЦ-2 АО «АрселорМитталТемиртау» [Текст] // Сб. тр. ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет, Россия, г. Благовещенск, 2019. – С. 370–377.

21 **Бутько, А. П.** Топливо и его использование. // Учебно-методический комплекс. – Минск : БГУ, 2019. – 70 с.

22 **Соколов, Н. В. Кисельгоф, М. Л. и др.** Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (Нормативные материалы) // под общей ред. Н. В. Соколова и М. Л. Кисельгофа. Л. : НПО ЦКТИ; ВТИ, 1971. – 312 с.

23 **Безгрешнев, А. Н., Липов, Ю. М., Шлейфер, Б. М.** Расчет паровых котлов в примерах и задачах. Учебное пособие для Вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1991.

24 **Родатис, К. Ф.** Котельные установки. Учебное пособие для студентов неэнергетических специальностей ВУЗов. – М. : Энергия, 1977. – 432 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*В. Л. Исаев<sup>1</sup>, С. Н. Камарова<sup>2</sup>, С. К. Абильдинова<sup>3</sup>*

**Жылуэнергетика инжинирингінің ерекшеліктері бойынша жүйелік анықтамалық білімді дамытудың әдіснамалық ерекшеліктері**

<sup>1</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100028, Қазақстан Республикасы;

<sup>2,3</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

V. L. Isaev<sup>1</sup>, S. N. Kamarova<sup>2</sup>, S. K. Abildinova<sup>3</sup>

### Features methodology of development of system basic knowledge on disciplines of heat power engineering

<sup>1</sup>Karaganda State Technical University,  
Karaganda, 100028, Republic of Kazakhstan;

<sup>2,3</sup>Almaty University of Energy and Communications,  
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада тірек конспектiмен орындалған жүйелiк тірек бiлiмдерiне арналған белсендi игеру әдiстемесiне сәйкес «Көмiрдiң елек талдауы» тақырыбының дидактикалық оқу әзiрлемесi ұсынылған. Әзiрлеудiң ерекшелiгi оқу материалын бiлiм алушы осы тақырыпты тану кезеңдерi бойынша өз бетiнше құрылымдаған, бiрақ оқытушы арқылы, логикалық ойластырылған, дағдыларды дамыту және кәсiби бiлiктердi дамыту үшiн практикалық мiндеттердi шешуде қолданылған. Тақырыпты меңгеру нәтижесiн өзiн-өзi бақылауды бiлiм алушы соңғы кезеңде пәнаралық өзара байланысты қамтамасыз ете отырып, аралас техникалық бiлiмдердiң ұқсастығы түрiнде бейнелеудi құрастыра отырып жүргiзедi. Бұл мамандық бойынша оқыту сапасын арттырады.*

*The article offers a didactic educational development of the topic «Sieve analysis of coal» according to the methodology of active development for system reference knowledge, performed by the reference abstract. The peculiarity of the development is that the training material is structured by the learner independently according to the stages of knowledge of this topic, but under the guidance of the teacher, it is logically meaningful, used in solving a practical problem for instilling skills and developing professional skills. Self-control of the result of mastering the topic is carried out by the student at the last stage by drawing up a map in the form of analogues from related technical knowledge, providing an interdisciplinary relationship. This improves the quality of training in the profession.*

ГРНТИ 44.01.11

**Ж. Р. Исаева<sup>1</sup>, К. С. Шоланов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>докторант, 3 курс, кафедра АПП, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100004, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра АПП, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100004, Республика Казахстан  
e-mail: 'zhozi\_maggi@mail.ru

### СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОПЛАВКОВОЙ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

*В возобновляемой энергетике одним из перспективных энергоносителей являются волны больших водных пространств, обладающие высокой удельной мощностью. Доступная для утилизации совокупная мощность волн Мирового Океана оценивается величиной порядка десяти тераватт, что вполне достаточно для удвоения производства электроэнергии на планете. Наиболее распространенными преобразователями энергии волн в электрическую энергию являются поплавковые волновые электростанции (ПВЛЭС).*

*В статье ставится цель совершенствовать ПВЛЭС путем расчета и выбора параметров конструкции и системы генерирования электрической энергии. Дается подробное описание гидродинамической ПВЛЭС системы генерирования электрической энергии.*

*Ключевые слова: поплавокная волновая электростанция, система генерирования, гидродинамическая система, короткозамкнутая электрическая машина*

#### ВВЕДЕНИЕ

Волны больших водных пространств (океанов, морей, больших озер) обладают огромным запасом энергии [1, 2]. Для извлечения и использования этой энергии применяются различные волновые источники энергии [3]. Однако большинство из известных технических средств по разным причинам не позволяют получить высокий коэффициент полезного действия, предрасположены к разрушениям от динамики волн и коррозии [4]. Подводная поплавокная волновая электростанция предложенная в работе [5] имеет конструкцию, которая позволяет преобразовать энергию

пространственного движения водных масс. Расположение ПВлЭС под водой, на расчетной глубине, защищает конструкцию от разрушительного действия динамики волн. Особенность созданного ПВлЭС в том, что он имеет систему автоматического управления массой поплавка. Функциональные возможности ПВлЭС, использующей технологию более эффективного преобразования энергии волн, подтверждены демонстрационной моделью поплавковой ПВлЭС (Рис. 1). На рисунке 1 показаны: 1 – нижняя платформа манипулятора; 2 – шесть актуаторов, представляющих соединения штоков – цилиндр; 3 – шесть линейных генераторов электрического тока, роторы которых движутся вместе со штоками актуаторов; 4 – поплавок с аэродинамическим профилем; 5 – блок амперметров; 6 – аквариум для испытания. Под действием волны поплавок захватывается движущейся водой и приводит в поступательное движение актуаторы 2 (соединения штоков– цилиндр).

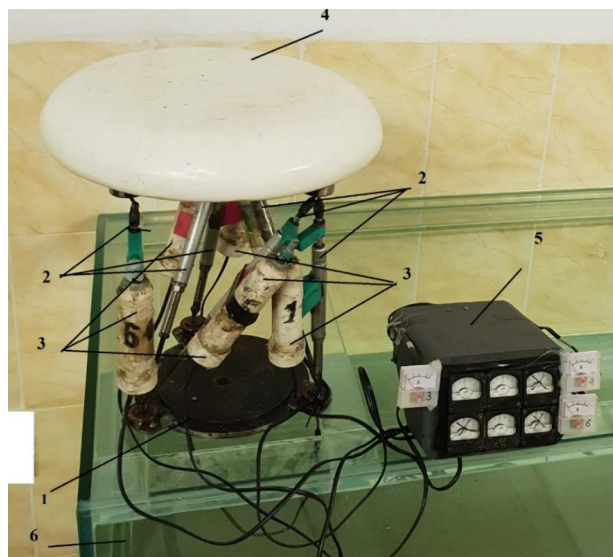


Рисунок 1 – Поплавковая волновая электростанция

Процесс преобразования энергии волн в электрическую энергию происходит в 2 этапа: на первом этапе выполняется извлечение энергии волн и её преобразование в механическую энергию «организованного» движения с помощью параллельного манипулятора; на втором этапе система генерирования преобразует механические движения в электрическую энергию. В данной статье предлагаются конструкция гидродинамической ПВлЭСи модель системы генерирования электрической энергии.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Особенностью гидродинамической ПВлЭС [5] является то, что энергия движения водной массы воспринимается поплавком и передается на параллельный манипулятор, движение звеньев которого преобразуется в электрическую энергию с применением гидродинамического воздействия. Функциональная схема гидродинамической ПВлЭС представлена на рисунке 2. Здесь показаны нижняя 1 и верхняя 2 платформы параллельного манипулятора. Манипулятор является первичным преобразователем энергии, преобразующим движение поплавка 3 под действием волн в механическую энергию шести актуаторов 4. Актуаторы представляют гидроцилиндры двухстороннего действия со штоками. При этом цилиндры связаны с неподвижной платформой 1, а штоки – с подвижной платформой 2. При движении поплавка перемещаются штоки, и создают давление гидравлической жидкости в нижних или верхних полостях цилиндров. Жидкость под давлением через шланги 5 нагнетается в полость гидродвигателей 6, соединенных посредством обгонных муфт 7 с валом 8 генератора электрического тока 9. Вал электрического генератора соединен с валами гидромоторов через обгонную муфту. Такая конструкция позволяет соединить вал генератора с гидромотором имеющим наибольшую скорость. Если мощность одного гидромотора оказывается недостаточной, то его угловая скорость падает пока не подключится второй гидромотор. Такой принцип функционирования позволяет генератору стабильно вырабатывать электрический ток. В итоге движение поплавка под действием водной массы преобразуется во вращательное движение вала генератора вырабатывающего электрический ток, который по кабелю 10 передается потребителю или на электронные силовые преобразователи. Система генерирования размещается в герметичном корпусе 11 расположенном на фундаменте 12.

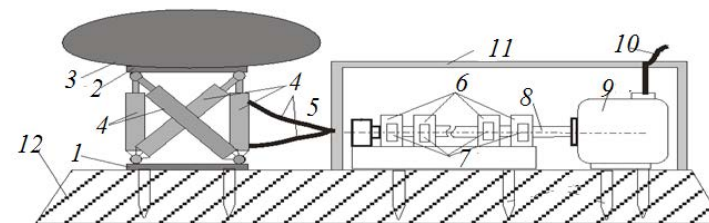


Рисунок 2 – Функциональная схема ПВлЭС

На рисунке 3 представлена схема гидросистемы волновой станции состоящая из гидроцилиндра 1 двухстороннего действия с поршнем 2 и штоком 3, которые выполняют функцию гидронасоса с поступательно



движущимся рабочим органом 3. Гидронасос приводит в движение гидромоторы 4,5. Над поршневая (А) полость гидроцилиндра с помощью напорной 12 и сливной 11 гидролиниями соединены с гидромоторами 4 и 5.

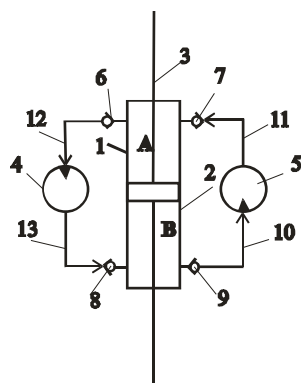


Рисунок 3 – Схема гидросистемы

Аналогично под поршневая полость (В) гидроцилиндра с помощью сливной 13 и напорной 10 гидролиниями также соединены с гидромоторами 4 и 5. Гидролинии снабжены обратными клапанами 6–9, обеспечивающие движение рабочей жидкости в одном направлении, например, обратный клапан 6 обеспечивает движение рабочей жидкости из полости (А) к гидромотору 4, а обратный клапан 7 обеспечивает движение рабочей жидкости из гидромотора 5 в полость (А) гидронасоса. Следует отметить, что в качестве рабочей жидкости в гидродинамической ПВлЭС может использоваться как специальная жидкость, так и морская вода. При использовании морской воды конструкция должна быть изготовлена из соответствующих материалов, обладающих антикоррозионными свойствами. Применение специальных жидкостей возможны, если они не влияют на экологию окружающей среды.

Ранее в работе [6] получен математический аппарат позволяющий численно определить и выбрать конструктивные параметры ПВлЭС, обеспечивающие его эффективное функционирование. Исходными данными для расчетов являются: требуемая мощность ВлЭС, среднегодовые значения параметров волны, полученные в результате мониторинга предполагаемого места монтажа ПВлЭС. Предложенный в этой работе алгоритм используется для исследования параметров манипулятора и поплавок ПВлЭС. Здесь предлагается предварительный расчет по заданной мощности для первоначального выбора основных параметров системы генерирования электрической энергии, т.е. системы отбора мощности. Расчеты направлены

на то, чтобы подтвердить возможность создания реальной конструкции ПВлЭС.

Мощность  $N_{max}$  волновой энергоустановки, преобразующей энергию морских волн в механическую энергию колебаний поплавок определяется в виде зависимости

$$N_{max} = \rho \cdot g \cdot S \cdot h^2 / 4T, \tag{1}$$

где  $\rho$  – массовая плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $S$  – площадь поперечного сечения поплавок;  $h$  – высота морской волны;  $T$  – период волнения. В качестве исходных данных для дальнейших расчетов принимаем характеристику волн Каспийского моря [7] (<http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia/kmore/priroda2.htm>), а именно: высота волны  $h=2,5$  м.; период волнения  $T=0,7$  с. Принимаем максимальную мощность ПВлЭС  $N_{max} = 50$  кВт из зависимости (1) определяем площадь поперечного сечения поплавок

$$S = \frac{4N_{max}T}{\rho \cdot g \cdot h^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 0,7}{1000 \cdot 9,8 \cdot 2,5^2} = 2,29 \text{ м}^2$$

Ранее [5] был предложен поплавок с аэродинамическим профилем сечения. Для эффективности функционирования ПВлЭС было предложена система автоматического регулирования массой поплавок [8]. Будем полагать, что вал электрогенератора вращается со скоростью  $n=300$  об/мин, тогда крутящий момент на валу генератора, создаваемый гидромотором определяется из соотношения

$$M = \frac{30N}{\pi n} = 1592 \text{ Нм}.$$

В качестве электрической машины для генерирования электрической энергии может быть выбран, например, синхронный генератор NE-50 KW китайского производства неодимовых магнитах.

Для предварительных расчетов гидравлической системы принимаем, что высота волны на глубине расположения ПВлЭС будет равна 1 м., тогда максимальный ход штока гидроцилиндров также будет равен 1 м. Время движения штока в одну сторону – 0.35 с., средняя скорость штока гидронасосов должна быть равной  $v=2.86$  м/с. Принимая (с запасом), что нагрузка от действия волн воспринимается тремя гидронасосами (фактически 6), определим усилие приходящее на один гидроцилиндр

$$F = \frac{N}{3v} = \frac{50000}{3 \times 2.87} = 5807 \text{ Н}$$

При давлении в гидросистеме равной  $p = 0.5$  МПа, диаметр гидроцилиндра ориентировочно равен

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = 0.122 \text{ м.}$$

Расход рабочей жидкости, которая поступает по напорной магистрали из гидроцилиндра в гидромотор определяется соотношением

$$Q = V / t = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot 0.35} = 0.033 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Определим рабочий объем гидромотора по формуле

$$V = \frac{Q \cdot 30}{\pi \cdot n} = \frac{0.033 \cdot 30}{314} = 1.624 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Следовательно можно выбрать шестеренчатый гидромотор с рабочим объемом 1600 см<sup>3</sup> производительностью 60 л/мин.

Выбор электрической машины для системы генерирования электрической энергии.

Для генерирования электрической энергии в ПВлЭС могут использоваться различные электрические машины. Выбор электрогенератора требуемой мощности, надёжности в эксплуатации, стоимости и высокого коэффициента полезного действия является актуальным и многовариантной задачей для решения проблем волновой энергетики. При этом следует отметить, что условия работы электрических машин в волновой энергетике, в частности по особенности стохастического внешнего воздействия, подобны условиям работы генераторов ветровых электростанций. В этой связи для выбора генератора ПВлЭС воспользуемся результатами анализа генераторов в ветроэнергетике.

В настоящее время существуют различные наиболее важные разновидности ветрогенераторов, доступные на рынке, подробно описанные [9]. Короткозамкнутая индукционная машина (SCIM) хорошо известна среди всех других электрических машин, используемых для постоянной скорости ветрогенераторов. Он соединен с ротором ветрогенератора, а статор напрямую соединен с решеткой с помощью конденсаторной батареи. Этот тип машины имеет некоторые недостатки, такие как: во время системы преобразования энергии, он имеет низкую эффективность, требует более высокого обслуживания коробки передач, минимальную возможность контролировать активную и реактивную мощность, а также SCIM имеют более высокую механическую нагрузку. Асинхронная машина с двойным

питанием (DFIM) [10] является одной из наиболее широко используемых машин для ветротурбинных применений с примерно 50 % установленной ветротурбинной системы. Применение этих машин для технологии переменной скорости приводит к снижению механической нагрузки в приводе и колебаниям мощности, а также уменьшает потери мощности. При более высокой скорости ветра в случае DFIM по сравнению с SCIM мощность, улавливаемая ветровой энергией, может быть ограничена с помощью управления шагом. DFIM имеет многочисленные преимущества, такие как снижение механических нагрузок, большая способность отслеживания максимальной мощности применением метода регулирования скорости и большую гибкость в управлении активной и реактивной мощностью. Однако в асинхронных машинах с двойным питанием используются щетки, что сводит к минимуму надежность и требует дополнительного обслуживания. Синхронные машины с прямым приводом (DDSM) похожи на асинхронные машины с двойным питанием; у них есть некоторые преимущества, такие как в DFIM, за исключением того, что DDSM может работать без мультипликаторов. Бесщеточная индукционная машина с двойным питанием (BDFIM) появилась в качестве подходящей альтернативы DFIM для автономных применений. Основное преимущество BDFIM в отсутствие щеток с соответствующим уменьшенным обслуживанием, а обмотки статора имеют отдельную пару полюсов, чтобы избежать прямого соединения.

По результатам проведенного анализа в системе генерирования ПВлЭС предлагается использовать синхронный генератор с инвертором и промежуточным контуром. На рисунке 4 представлена схема системы генерирования электрической энергии. Здесь ГМ-гидромотор, СГ-синхронный генератор, В- выпрямитель, Ф- Фильтр, ПК – промышленный контроллер, ИВ – инвертор, Т-трансформатор.

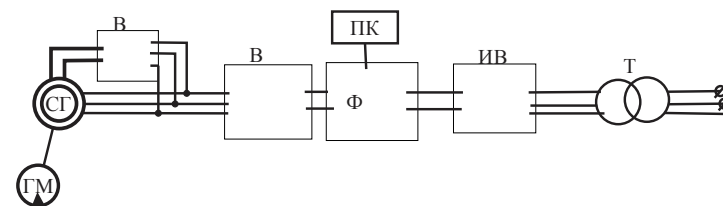


Рисунок 4 – Система генерирования гидродинамической ПВЭС

Ротор синхронного генератора вращается гидромотором. Синхронный генератор присоединяется к трехфазной электрической сети переменного тока потребителя через промежуточный контур постоянного тока или постоянного напряжения и инвертор. Контроллер через фильтр управляет инвертором в

зависимости от тока генератора. Трансформатор стабилизирует напряжение в сети потребителя. Такая система генерирования, но с передаточным механизмом вместо гидромотора может быть использован и в других источниках возобновляемой энергии.

## ВЫВОДЫ

В статье рассматривается гидродинамическая подводная волновая электростанция. Приведено описание конструкции и принципа функционирования ПВЛЭС, а также системы генерирования электрической энергии. Проведены расчеты подтверждающие возможность практической реализации конструкции ПВЛЭС. Исходя из общности условий работы волновых и ветровых электростанций, для выбора электрической машины предлагается использовать опыт выбора генераторов ветровых электростанций. На основе анализа электрических машин выбрана синхронная машина с инвертором и промежуточным контуром. Сформирована функциональная схема системы генерирования

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Wong, K. V.** Recommendations for Water-Energy Nexus Problems, ASME J. Energy Resour. Technol., 2014, 136(3).
- 2 **Barstow, S., Mørk, G., Mollison, D., Cruz, J.** The wave energy resource. In: Ocean wave energy, Cruz, J. (Ed.), p. 93–132, Springer, Berlin, 2008.
- 3 **A. Muetze, J. G. Vining.** Ocean Wave Energy Conversion – A Survey. Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-4. First IAS Annual Meeting. Tampa, FL, USA, 2016.
- 4 **Falcão A. F. de O.** Wave energy utilization: A review of the technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, no. 3. 2010, – p. 899–918.
- 5 **Sholanov, K. S.** Wave electric power station on the basis of a parallel manipulator. WO/2017/003273,05.01.2017.
- 6 **Sholanov, K. S., Issaeva, Zh.** Submerged float wave electric power station on the basis of the manipulator converter. International journal of renewable energy research (IJRER), Vol.9, No.3, September, 2019.
- 7 <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia/kmore/priroda2.htm>
- 8 **Исаева, Ж. Р., Шоланов, К. С.** Управляемая поплавокная волновая электростанция. Вестник ПГУ. Энергетическая серия, № 4, 2019.
- 9 **Mazhar. H. Baloch, Jie Wang, Ghulam. S. Kaloi.** «A Review of the State of the Art Control Techniques for Wind Energy Conversion System», International Journal of Renewable Energy Research, vol. 6, no. 4, 2016.

10 **Kaloi, G. S., J. Wang, and M. H. Baloch,** Active and reactive power control of the doubly fed induction generator based on wind energy conversion system. Energy Reports, 2016. 2: – p. 194–2009.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Ж. Р. Исаева<sup>1</sup>, К. С. Шоланов<sup>2</sup>*

**Жүктеу жүйесіндегі қалқымалы толқын электростанциясы**

<sup>1,2</sup>Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,

Қарағанды қ., 100004, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*Z. R. Issaeva<sup>1</sup>, K. S. Sholanov<sup>2</sup>*

**Electric energy generation system of a floating wave power plant**

<sup>1,2</sup>Karaganda State Technical University,

Karaganda, 100004, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Жаңартылатын энергия көздері болашағы зор энергия тасымалдағыштардың бірі – үлкен су кеңістігінің толқындары болып табылады. Қайта өңдеуге қол жетімді, Дүниежүзілік мұхиттың жалпы толқындық қуаты он тераваттқа бағаланады, бұл планетада электр энергиясын өндіруді екі есе арттыруға жеткілікті. Толқындық энергияны электр энергиясына ең көп түрлендіргіштер – бұл қалқымалы толқындық электр станциялары (КТЭС).*

*Мақаланың мақсаты – жобалық параметрлерді және электр энергиясын өндіру жүйесін есептеу және таңдау арқылы КТЭС-ті жақсарту. Гидродинамикалық КТЭСі және электр энергиясын өндіру жүйесі туралы толық сипаттама берілген.*

*In renewable energy, one of the promising energy carriers is waves of large water spaces with a high specific power. Available for recycling, the total wave power of the World Ocean is estimated at about ten terawatts, which is enough to double the production of electricity on the planet. The most common converters of wave energy into electrical energy are float wave power plants (FWpP).*

*The goal of the article is to improve FWpP by calculating and selecting design parameters and the system for generating electric energy. A detailed description of the hydrodynamic FWpP and the system for generating electrical energy is given.*

**Р. М. Искаков<sup>1</sup>, М. Г. Мулдашева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., ассоц. профессор, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Z05M6G3, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистрант, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>rus.iskakov79@mail.ru; <sup>2</sup>m.muldasheva@bk.ru

## **МАССО- И ТЕПЛОПЕРЕНОС В СУШИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕМ АППАРАТЕ**

*В статье рассматриваются исследования массо- и теплопереноса в рабочей зоне сушильно-измельчающего аппарата (СИА). Выявлены основные факторы, влияющие на ускорение процесса сушки во взвешенном состоянии с одновременным ударно-раскалывающим измельчением. Исследовано изменение температуры и влажности в частицах сырья и кормовой муки растительного происхождения при различных параметрах работы сушилки. Выявлено, что увеличение частоты вращающихся ударных элементов внутри сушильной камеры повышает скорость сушки, скорость сушки значительно увеличивается в период постоянной скорости и незначительно в период падающей скорости сушки. Бесконтактный пирометр позволил эффективно отслеживать температуру в сушилке с обезвоживанием во взвешенном вихревом состоянии, что влияет на необходимость регулирования равномерности распределения полей температуры и влажности в сушильной камере.*

*Ключевые слова: массоперенос, теплоперенос, сушка, тепловая обработка, корма.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

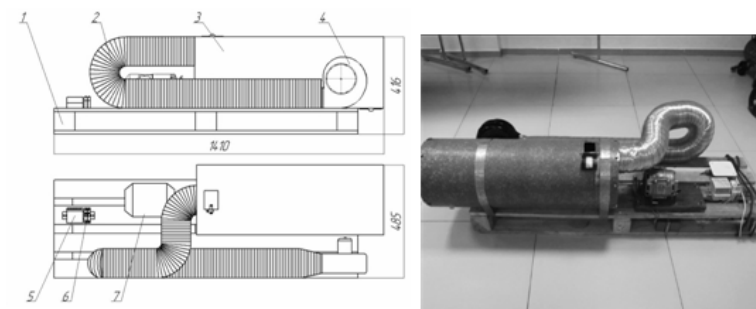
Процессы энергоэффективной сушки широко применяются в промышленности и в сельском хозяйстве [1]. Сушка – это сложный технологический процесс (физико-химический), который должен обеспечить не только сохранение качественных показателей материала, но в ряде случаев и улучшение этих показателей [2]. Анализ исследований сушильного оборудования на современном этапе [3–5] позволяет сделать вывод, что эффективным средством интенсификации и повышения качества сушки в производстве кормовой муки является совмещение процесса сушки с

измельчением в одном аппарате [6], так как увеличивается поверхность фазового контакта, снижается диффузионное сопротивление влагопереноса, что позволяет существенно повысить скорость протекания тепло- и массообмена. Кроме того, сочетание измельчения с сушкой повышает равномерность термообработки продуктов по фракциям и позволяет проводить достаточно глубокое обезвоживание материала [7].

Комбинация процесса сушки с измельчением является перспективным научным направлением. Поэтому детальное исследование процесса сушки с измельчением и совершенствование СА при производстве кормовой муки является актуальной научно-технической задачей.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Исследования проводились на лабораторной установке в соответствии с рисунком 1, где представлена схема и фотография сушилки, состоящая из стойки 1, воздуховода с калорифером 2, сушильной камеры 3, вентилятора 4, а также патрубков для подачи сырья и выхода готового продукта. Включение и выключение сушилки осуществлялось посредством рубильника 6. Оригинальность и новизна сушилки подтверждается Евразийским патентом на изобретение № 030176 [8].



1 – стойка; 2 – воздуховод с калорифером; 3 – сушильная камера; 4 – вентилятор; 5 – трансформатор; 6 – рубильник; 7 – электродвигатель.

Рисунок 1 – Схема и фотография конвективной сушилки

Сушилка работает следующим образом. Предварительно измельченное отходное сырье растительного происхождения (лузга) подается через патрубок для подачи сырья в сушильную камеру 3. Через воздуховод с калорифером 2 поступает агент сушки – горячий воздух. В сушильной камере сырье подвергается интенсивному измельчению и соударению посредством вращающихся ударных элементов, получающих свое движение

от электродвигателя 7 и одновременному контакту с высокотемпературным агентом сушки, что интенсивно обеспечивает влагоотдачу из глубины высушиваемого материала к его поверхности. Окончательно высушенный продукт выходит через патрубок из сушильной камеры 3.

При работе сушилки требовалось детально отслеживать температуру нагрева воздуха в различных частях сушилки. Температура воздуха в различных местах сушилки измерялась бесконтактным пирометром с лазерным указателем (рисунок 2) [9].

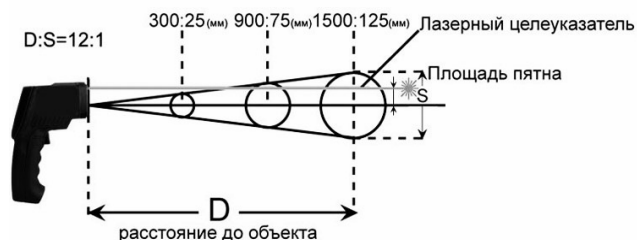


Рисунок 2 – Бесконтактный пирометр с лазерным указателем

Как известно, в процессе сушки влажный материал стремится к состоянию равновесия с окружающей средой, следовательно влажность материала  $W$  и его температура  $T$  находятся в зависимости от времени  $t$  и от координат точки материала  $z_1, z_2, z_3$

$$W = W(z_1, z_2, z_3, t) \tag{1}$$

$$T = T(z_1, z_2, z_3, t) \tag{2}$$

Влияние времени на температуру материала можно не учитывать, в случае когда температура материала становится равновесной намного интенсивнее, чем его влажность. Зависимости (1) и (2) дают описание динамики сушки и нагрева материала. Изменение во времени средних по объему материала влажностей  $W$  и температур  $T$  характеризует кинетику процессов сушки и нагрева

$$W = W(t) \tag{3}$$

$$T = T(t) \tag{4}$$

$$W = \int \int \int W(z_1, z_2, z_3, t) d_{z_1} d_{z_2} d_{z_3} \tag{5}$$

$$T = \int \int \int T(z_1, z_2, z_3, t) d_{z_1} d_{z_2} d_{z_3} \tag{6}$$

Быстрота сушки характеризуется скоростью сушки  $dW/dt$ , которая по мере приближения к состоянию равновесия уменьшается и обычно стремится к нулю. Интенсификация обезвоживания зависит от некоторого числа факторов, свидетельствующих о сложности действительного процесса сушки, о сложности разработки для него адекватного математического описания. Значительное влияние на процесс сушки оказывают факторы, определяющие обезвоживаемый материал как объект сушки и характеризуют сопротивляемость материала переносу влаги внутри него и с его поверхности в окружающую среду, силу связи влаги с материалом, способность материала воспринимать подводимое к нему тепло.

Увеличение частоты вращающихся ударных элементов внутри сушильной камеры повышает скорость сушки, что обусловлено созданием активного гидродинамического и теплового режимов в сушильной камере и увеличением поверхности контакта фаз (рисунок 3). Температура агента сушки составила  $T_{ac}=110$  °C.

При повышении скорости агента сушки  $V_{ка}$  скорость сушки значительно увеличивается в период постоянной скорости и незначительно в период падающей скорости сушки. Это объясняется тем, что в период постоянной скорости сушки, когда удаляется в основном свободная влага с поверхности, процесс лимитируется в основном внешними условиями. В период падающей скорости сушки процесс лимитируется внутренними условиями тепло- и массопереноса, в частности интенсивностью диффузии влаги из глубины высушиваемого материала к его поверхности, которая в меньшей мере зависит от внешних условий (рисунок 4).

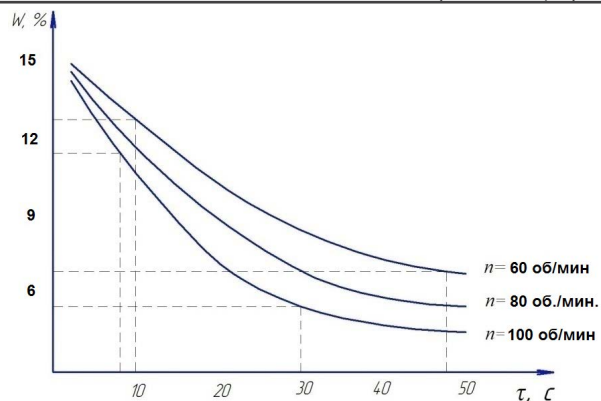


Рисунок 3 – Кривые сушки измельченной лозги

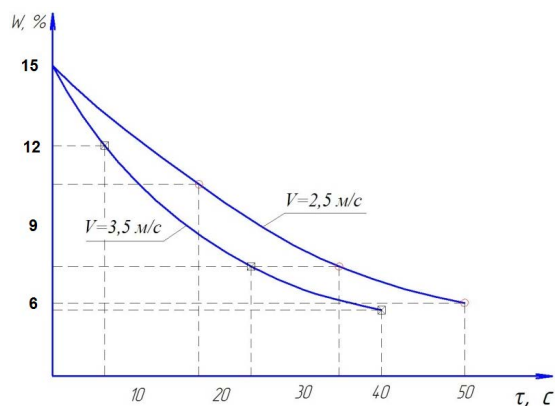


Рисунок 4 – Интенсивность диффузии влаги из глубины высушиваемых частиц лозги к его поверхности

Исследования с применением бесконтактного пирометра показывают, как температурные кривые описывают изменение высушиваемого материала, т.е. влажности объекта сушки  $W_{oc}$ . Например, в соответствии с рисунком 5 видно как в начале сушки частицы лозги быстро нагреваются, далее на протяжении периода сушки температура объекта сушки  $T_{oc}$  остается постоянной, в это время происходит быстрая влагоотдача материала.

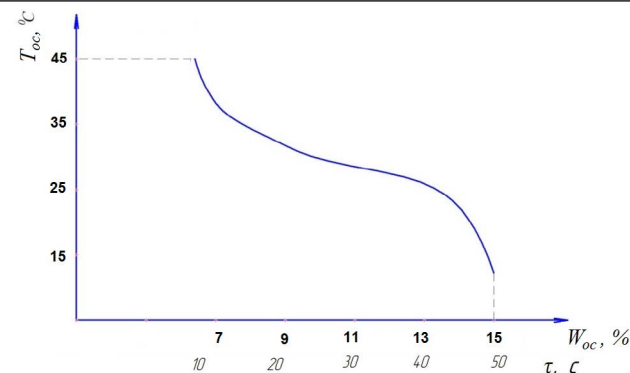


Рисунок 5 – Температурная кривая, описывающая изменение температуры  $T_{oc}$  и влажности  $W_{oc}$  объекта сушки

При дальнейшем нагревании температура объекта сушки  $T_{oc}$  приближается к температуре испаряющейся жидкости. В конечном периоде сушки температура объекта сушки  $T_{oc}$  повышается, влага из материала выделяется очень медленно.

### ВЫВОДЫ

Бесконтактный пирометр позволил эффективно отслеживать температуру в сушилке с обезвоживанием во взвешенном вихревом состоянии, что влияет на необходимость регулирования равномерности распределения полей температуры и влажности в сушильной камере. Бесконтактным пирометром удобно и безопасно измерять температуру в труднодоступных и опасных местах сушилки не касаясь измеряемой поверхности, что является весьма нетрудоемким и эффективным способом контроля температуры.

Лабораторные исследования показывают, что сушка с дезагрегированием частиц кормовой муки из отходов растительного происхождения способствует интенсификации тепло- и массопереноса за счет осуществления обезвоживания во взвешенном вихревом состоянии посредством установленных рядов вращающихся ударных элементов, обеспечивает устранение задерживания более твердых частиц обезвоживаемого сырья в сушильной камере за счет вертикально установленных центральных рядов вращающихся ударных элементов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Лыков, А. В. Теория сушки. – Москва : Энергия, 1968. – С. 2–5.

2 **Гинзбург, А. С.** Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – Москва : Пищевая промышленность, 1973. – 527 с.

3 **Mujumdar, A. S.** Handbook of Industrial Drying. 3rd Ed. New York : Taylor S Francis, 2007. – p. 1280.

4 **Kudra, T., A. S. Mujumdar.** Advanced Drying Technologies. 2nd Ed. New York : Taylor S Francis, 2009. – p. 500.

5 **Byron R., Bird, E. Stewart** Warren and N. Lightfoot Edwin. Transport Phenomena. 2nd Ed. New York : Wiley, 2002. – p. 895.

6 **Сторк Дюк Б. В.** Документация для Сельского Хозяйства и для Мясной и Птицеперерабатывающей Промышленности. Москва : Холдинг, 1989. – С. 1–7.

7 **Sazhin, B. S., V. B. Sazhin.** Scientific Principles of Drying Technology. New York : Begell house, 2007. – p. 497.

8 **Искаков, Р. М., Смакова, Б. С., Букганбаева, Ж. Е., Искакова, А. М., Манапова, Ж. К., Какабаев, Н. А.** Устройство для измельчения и сушки при переработке отходного костного сырья в производстве костной кормовой муки. Евразийский патент № 030176 – Москва, опубл. 29.06.2018 г.

9 <http://www.taker.im/review/2403-infrakrasnyiy-termometr-pirometr-Benotech-GM320>.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Р. М. Искаков<sup>1</sup>, М. Г. Мулдашева<sup>2</sup>*

**Кептіріп-ұсақтағыш аппараттағы масса және жылу тасымалдау**

<sup>1,2</sup>Техникалық факультет,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*R. M. Iskakov<sup>1</sup>, M. G. Muldasheva<sup>2</sup>*

**Mass and heat transfer in drying and grinding apparatus**

<sup>1,2</sup>Technical Faculty,

S. Seifullin Kazakh Agricultural Engineering University,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада кептіріп-ұсақтағыш аппараттың жұмыс аймағындағы масса және жылу тасымалдануы зерттеліп көрсетілген. Бір мезгілде соққы-жарғыш ұсақтаумен өлшенген күйде кептіру процесін жылдамдатуға әсер ететін негізгі факторлар*

*анықталды. Кептіргіштің әр түрлі параметрлерінде өсімдік тектес жемдік ұн және шикізат бөлшектеріндегі температура мен ылғалдылықтың өзгеруі зерттелді. Кептіргіш камераның ішіндегі айналмалы соққы элементтерінің жиілігінің артуы кептіру жылдамдығын жоғарылататыны анықталды, кептіру жылдамдығы тұрақты жылдамдық кезеңінде айтарлықтай артады және кептірудің бәсеңдеу жылдамдығы кезінде кемиді. Контактсіз пирометр өлшенген құйынды күйде құрғату арқылы кептіргіштегі температураны тиімді бақылауға мүмкіндік берді, бұл кептіру камерасындағы температура мен ылғалдылық өрістерінің біркелкі таралуын реттеу қажеттілігіне әсер етеді.*

*The article considers studies of mass and heat transfer in the working zone of the drying and grinding apparatus (SIA). The main factors affecting the acceleration of the drying process in the suspended state with simultaneous impact-breaking grinding are revealed. Change of temperature and humidity in raw material particles and plant-based feed flour at different parameters of dryer operation is investigated. It is revealed that increase in frequency of the rotating shock elements in the drying camera increases drying speed, drying speed considerably increases in the period of constant speed and is insignificant in the period of the falling drying speed. The contactless pyrometer has made it possible to effectively monitor the temperature in the drier with dehydration in the suspended vortex state, which affects the need to control the uniformity of the distribution of the temperature and humidity fields in the drying chamber.*

**P. Kroczek<sup>1,2</sup>, J. Cieślik<sup>1</sup>, A. Bolatova<sup>3</sup>, M. Ussebayev<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland, International Society for Medical Robotics, Foundation for Cardiac Surgery Development, Zabrze, Poland;

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland;

<sup>3</sup>Candidate of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh Agronomical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Candidate of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh Agronomical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan

e-mail: <sup>3</sup>bolatova\_ainash@mail.ru; <sup>3</sup>usermur@mail.ru

## **KINEMATIC ANALYSIS OF SURGICAL ROBOT ROBIN HEART VISION**

*The following paper presents complete kinematic analysis of surgical robot Robin Heart Vision developed by Foundation for Cardiac Surgery Development in Zabrze. Analysis begins with introduction of the kinematic structure and its basic features. The paper contains computing methodology of forward and reverse kinematics. Equations elaborated in the analytical part subsequently are tested with use of algorithm created by authors. There has been done a simulation which confirmed correctness of approach and computation method.*

*Keywords: medical robotics, robot's kinematic system.*

### **INTRODUCTION**

Medical robotics is a broad, fast-growing field of robotics and mechatronics. It responds to the needs of modern hospital operating procedures and the increasingly popular MIS (minimally invasive surgery). Thanks to these surgery methods, patients recover faster and more quickly. There are fewer tissue injuries, complications and pain. MIS surgery enables the use of specially designed laparoscopic tools introduced into the patient's body through small incisions not exceeding a dozen or so millimetres or natural body holes. Laparoscopic instruments are long (more than 300 mm) thin tubes ending in a suitable tool-edge (pliers, scissors) with a special handle that transmits movements and enables closing and opening the instruments. Surgeons developing endoscopic technique of performing procedures encountered a barrier of human precision (especially during coronary bypass surgery). This is particularly evident in cardiac surgeries,

where the space to operate the instruments is only 2–3 cm between the heart and the chest wall. Surgical robots, which have removed most of the defects of classical instruments, become an alternative to traditional laparoscopic instruments. The precision of the positioning of the surgical instrument by the robot reaches an accuracy of 0.1 mm, unattainable for the hand of a surgeon.

The specificity of a surgical operation and the importance of safety prefers surgical robots mainly as telemanipulators, leaving all decisions concerning movement and effector operation to the doctor. Telemanipulator is a copying manipulator, working in a master-slave system, where the slave part is the manipulator and the superior motion controller. The operator – the surgeon holding the tool motion controller cuffs gives positions and orientation, calculated by a special over-scoring unit and mapped by the manipulator. The control system between the operator and the manipulator enables additional processing of the signal controlling the tool movement, e.g. removing hand shaking or scaling. The advantage of using the intermediate control is the possibility of conducting operations at a distance. Together with the control system and endoscope visual system, the manipulator and the tool motion controller form a complete system [1].

In Poland, since 2000 in the Foundation for the Development of Cardiac Surgery named after Z. Religa in Zabrze under the leadership of Z. Nawrat, PhD, has been conducted works on a Polish cardiac surgery robot. Further prototypes belonging to the family of robots under the common name of Robin Heart were created. Robin Heart Vision robot developed in the years 2007–2012 on the basis of Robin Heart 1 project is used to control the position of the endoscopic vision track.

This paper presents the result of a thorough kinematic analysis of the Robin Heart Vision cardiac surgery robot.

### **MAIN PART**

#### **Robin heart vision robot's structural assumptions**

The specific conditions for minimally invasive procedures consist in introducing a tool into the patient's body through a small incision in the body shells. Due to the continuity of the coatings, the opening in the patient's body cannot move and remains at the same point in space throughout the procedure. The surgical robot must maintain one fixed point in space regardless of its position and orientation. This condition is called a fixed point condition. A hole called a port from a mechanical point of view is a kind of ball joint with a diameter not exceeding 15 mm. Every movement connected with the surgical activities inside the patient's body is realized by the movement of the robot's arm over the operating table in reverse. Minimal invasive operations are carried out using more than one tool, whose ports are close to each other, which results in limited space for manipulation. Therefore, keeping the robot unchanged in the point space must



not involve the use of an additional mechanism at the patient's body, but must be achieved in another way.

There are several ways to reach a fixed point of introduction of a tool. One of them is passive fixed point, where the port is treated as a tool support point. The disadvantage of this solution is that there is a significant force coming from the port, which prevents precise operations. Another fixed point method is to take into account a fixed point on the control level – active fixed point. It requires the use of additional degrees of freedom and the reservation of additional computing power of the control unit to convert the position taking this point into account. The last method used is kinematic fixity. It consists in forcing a fixed point by using a special manipulator structure – a spherical structure in the middle of which the port is located. The kinematic forcing allows to get rid of the disadvantages of the previous methods at the cost of more complicated construction and the need for more space above the operating table.

The Robin Heart Vision robot's structure has a spherical structure fulfilling at the same time the requirement of kinematic constancy, realized through a double articulated four-bar-linkage system (Fig.1) [3, 4].

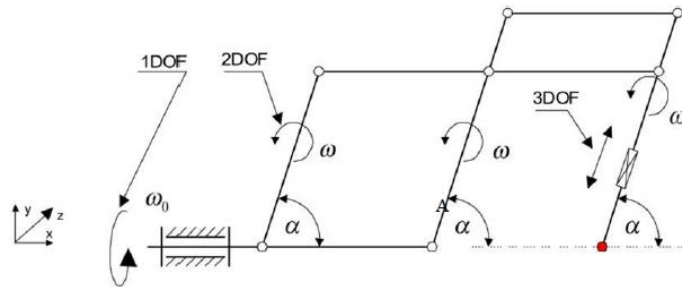


Figure 1 – Double-jointed four-bar linkage system [5]

As shown in Figure 1, the fixed point is in the axis of the first degree of freedom (1DOF) and the extension of the axis of the third degree of freedom (3DOF). The application of the double hinged Four-bar-linkage system forces equal angular displacement (angle  $\alpha$ ) and equal angular velocity of the marked members (velocity  $\omega$ ).

The need to use an endoscope track mounted on the last member forces modification of the kinematic diagram. Without changing the structure, the fixed point will be located in point A shown in Fig. 1 and not in the endoscope axis. Necessary modifications are shown in Fig. 2. Introducing an additional tilt angle ( $\eta$ ) of the CD and GH segment in relation to BC results in the transfer of the fixed point to the tool axis.

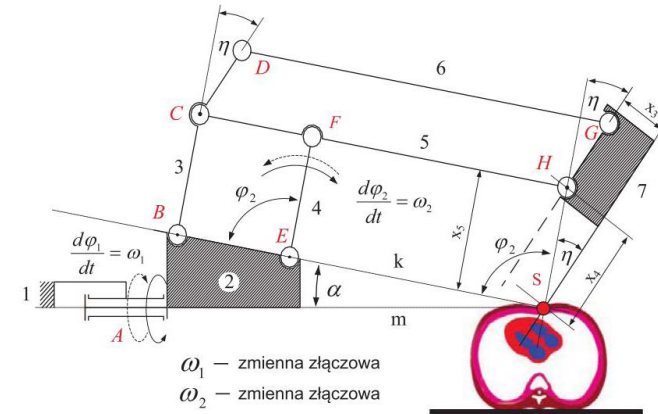


Figure 2 – Structural diagram of a fixed-point mechanism with geometric angular displacement of the tip [6]

The tool's angle of inclination  $\eta$  is defined by the formula:

$$\eta = \arctg\left(\frac{x_3}{x_4}\right) = \arctg\left(\frac{x_3}{x_5}\right) \quad (1)$$

A complex geometric structure requires high accuracy of manufacturing with the fulfilment of the given geometric conditions. Any deviation from the structure results in a loss of the fixed point.

$$BE \parallel CF; CH \parallel DG; BC \parallel EF; CD \parallel GH; \quad (2)$$

Figure 1 shows the first two degrees of freedom of the robot mechanism. The first degree of freedom is rotation about the horizontal axis –  $\theta_1$ , the second degree of freedom is rotation about the axis perpendicular to the plane of the diagram –  $\theta_2$ . The other two degrees of freedom are related to the movement of the manipulator's effector (linear displacement of the video track) – the third degree of freedom and the fourth degree of freedom is the rotation about its own axis -.

Kinematic analysis of surgical robot Robin Heart Vision

The task of kinematics is to know the position and orientation in space of the kinematic system or certain parts thereof. There are two kinematics tasks: forward kinematics and the inverse kinematics. Forward kinematics allows to move from joint coordinates to Cartesian coordinates and determines the angles of orientation, unambiguously positioning a segment (a coordinate system associated with a segment) in Cartesian space. Inverse kinematics is a problem opposite to forward kinematics. Knowing the coordinates of the starting point of

the system and its orientation in relation to the base system the joint variables are to be found. Inverse kinematics is crucial for controlling the mechanism. Due to the possibility of multiple solutions or lack of overt solutions (as in the case of redundant structures with redundant movements), the inverse kinematics task is much more difficult than the forward kinematics task. [2, 6]

The aim of forward kinematics is to obtain equations in an open form that allow the transformation of one system into another. If we limit our considerations to open kinematic chains consisting only of a few selected types of kinematic pairs (rotational, translational and cylindrical) we can use Denavit-Hartenberg notation. The notation allows to obtain a mathematical description of kinematics using some rules of introducing local reference systems.

Forward kinematics of surgical robot Robin Heart Vision

In order to calculate the equations of Robin Heart Vision forward kinematics, Denavit-Hartenberg's notation was used and a table of homogeneous transformations was created (Table 1) describing the transformations of successive coordinate systems according to the methodology presented in Fig. 3. The table also contains some geometric dimensions adopted according to Fig. 4.

The number of joint parameters shown in Fig. 4 is apparently different from the assumed one (the robot has only four degrees of freedom). This is due to the application of the double parallelogram structure. In fact, the angles  $\theta_{var4}$  and  $\theta_{var5}$  are linearly dependent on the angle  $\theta_{var3}$ .

Table 1 – Robin Heart Vision homogeneous transformation table

Link number	$\theta_i$ [deg]	$d_i$ [mm]	$a_i$ [mm]	$\alpha_i$ [deg]
1	0	0	0	-90
2	$\theta_{var2} - 90$	$-d_2$	$a_2$	-90
3	$\theta_{var3} - \beta_3$	0	$a_3$	0
4	$\theta_{var4} + \beta_4$	0	$a_4$	0
5	$\theta_{var5} - \beta_5$	0	$a_5$	90
6	0	$d_{var6} + d_7$	0	0
7	$\theta_{var7}$	0	0	0

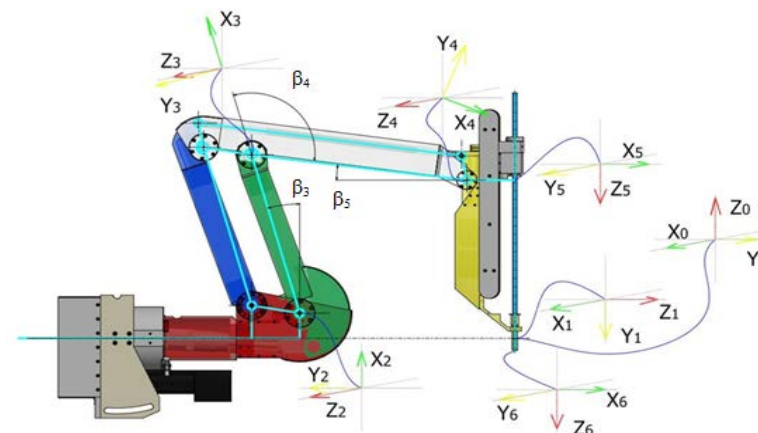


Figure 3 – Method of selection of coordinate systems in kinematic joints

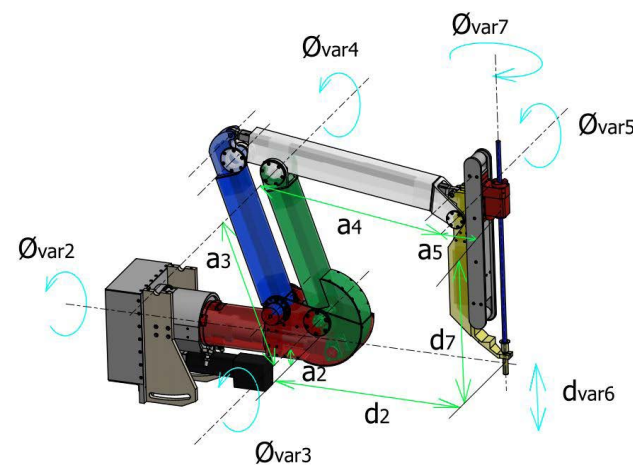


Figure 4 – Assumed dimensions and directions of rotation angles

Using the table 2 of homogeneous transformations and multiplying the successive matrices of homogeneous transformations, the equations of forward kinematics were obtained.

Table 2 – Homogeneous transformations

$\frac{\cos(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) - \cos(\theta_{var7}) * \sin(\theta_{var2}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3}))}{\cos(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) - \cos(\theta_{var7}) * \sin(\theta_{var2}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3}))}$	$\frac{\cos(\theta_{var2}) * \cos(\theta_{var7}) + \sin(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3}))}{\cos(\theta_{var2}) * \cos(\theta_{var7}) + \sin(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3}))}$	$\frac{-\sin(\theta_{var2}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}{-\sin(\theta_{var2}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}$	$\frac{-\sin(\theta_{var2}) * (Q1 * a_4 - a_2 + (d_{var6} + d_7) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))) + a_5 * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) - a_3 * (Q5 * \cos(\theta_{var3}) + Q6 * \sin(\theta_{var3}))}{-\sin(\theta_{var2}) * (Q1 * a_4 - a_2 + (d_{var6} + d_7) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))) + a_5 * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) - a_3 * (Q5 * \cos(\theta_{var3}) + Q6 * \sin(\theta_{var3}))}$
$\frac{\cos(\theta_{var7}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}{-\sin(\theta_{var7}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}$	$\frac{-\sin(\theta_{var7}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}{-\sin(\theta_{var7}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}$	$\frac{-W1 * \cos(\theta_{var3}) - W2 * \sin(\theta_{var3})}{-W1 * \cos(\theta_{var3}) - W2 * \sin(\theta_{var3})}$	$\frac{Q2 * a_4 - d_7 - (d_{var6} + d_7) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) + a_5 * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3})) - a_3 * (Q5 * \sin(\theta_{var3}) - Q6 * \cos(\theta_{var3}))}{-W1 * \cos(\theta_{var3}) - W2 * \sin(\theta_{var3})}$
$\frac{-\sin(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) - \cos(\theta_{var2}) * \cos(\theta_{var7}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3}))}{\cos(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) - \cos(\theta_{var7}) * \sin(\theta_{var2}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3}))}$	$\frac{\cos(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) - \cos(\theta_{var7}) * \sin(\theta_{var2})}{\cos(\theta_{var2}) * \sin(\theta_{var7}) * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) - \cos(\theta_{var7}) * \sin(\theta_{var2})}$	$\frac{-\cos(\theta_{var2}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}{-\cos(\theta_{var2}) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))}$	$\frac{-\cos(\theta_{var2}) * (Q1 * a_4 - a_2 + (d_{var6} + d_7) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))) + a_5 * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) - a_3 * (Q5 * \cos(\theta_{var3}) + Q6 * \sin(\theta_{var3})))}{-\cos(\theta_{var2}) * (Q1 * a_4 - a_2 + (d_{var6} + d_7) * (W1 * \sin(\theta_{var3}) - W2 * \cos(\theta_{var3}))) + a_5 * (W1 * \cos(\theta_{var3}) + W2 * \sin(\theta_{var3})) - a_3 * (Q5 * \cos(\theta_{var3}) + Q6 * \sin(\theta_{var3})))}$
0	0	0	1

where:

$$Q1 = \cos(\theta_{var3} + \beta_4) * \sin(\theta_{var3} - \beta_3) + \sin(\theta_{var3} + \beta_4) * \cos(\theta_{var3} - \beta_3)$$

$$Q2 = \cos(\theta_{var3} + \beta_4) * \sin(\theta_{var3} - \beta_3) - \sin(\theta_{var3} + \beta_4) * \cos(\theta_{var3} - \beta_3)$$

$$Q3 = \cos(\beta_5), \quad Q4 = \sin(\beta_5), \quad Q5 = \cos(\beta_3), \quad Q6 = \sin(\beta_3)$$

$$W1 = Q1 * Q3 + Q2 * Q4, \quad W2 = Q1 * Q4 - Q2 * Q3$$

MathWorks™ software– MATLAB was used for calculation purposes.

Inverse kinematics of surgical robot Robin Heart Vision

For the purpose of calculating the inverse task for Robin Heart, the matrix method of solving equations was used. The local coordinate system can be applied to any point in space. By giving three Cartesian coordinates that define the translations and three angles that define the orientation to the base coordinate system. Based on these parameters we create a translation vector with dimensions [1x3] and a rotation matrix with dimensions [3x3]. The transposed translation vector and rotation matrix together with the vector responsible for the perspective and the scale factor make up a homogeneous transformation matrix (below).

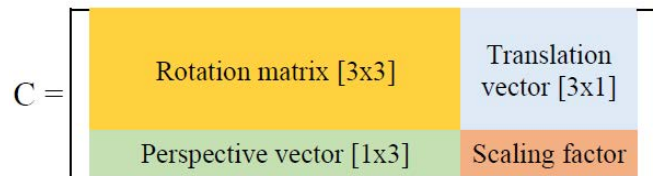


Figure 5 – Homogeneous transformation matrix

By comparing the corresponding equations of forward kinematics with the values of the transformation matrix of the coordinate (position) system of interest, the system of equations can be arranged. On the basis of the system the functions of articulated variables are determined, which are the solution to the task of the inverse kinematics.

$$\theta_{var3} = \arctan 2 \left( \frac{\sqrt{C_{13}^2 + C_{33}^2}}{\sqrt{W_1^2 + W_2^2}}, \pm \sqrt{1 - \frac{C_{13}^2 + C_{33}^2}{W_1^2 + W_2^2}} \right) + \arctan 2(W_2, W_1) \quad (3)$$

$$\theta_{var2} = \arctan 2 \left( -\frac{C_{13}}{W_1 \cdot \sin(\theta_{var3}) - W_2 \cdot \cos(\theta_{var3})}, -\frac{C_{33}}{W_1 \cdot \sin(\theta_{var3}) - W_2 \cdot \cos(\theta_{var3})} \right) \quad (4)$$

$$\theta_{var7} = \arctan 2 \left( -\frac{C_{22}}{W_1 \cdot \sin(\theta_{var3}) - W_2 \cdot \cos(\theta_{var3})}, \frac{C_{21}}{W_1 \cdot \sin(\theta_{var3}) - W_2 \cdot \cos(\theta_{var3})} \right) \quad (5)$$

$$d_{var6} = -\frac{(C_{34} + \cos(\theta_{var2})) (Q_1 a_4 - a_2 + a_5 (W_1 \cos(\theta_{var3}) + W_2 \sin(\theta_{var3})))}{\cos(\theta_{var3}) (W_1 \sin(\theta_{var3}) - W_2 \cos(\theta_{var3}))} + \frac{a_3 (Q_5 \cos(\theta_{var3}) + Q_6 \sin(\theta_{var3}))}{\cos(\theta_{var3}) (W_1 \sin(\theta_{var3}) - W_2 \cos(\theta_{var3}))} - d_7 \quad (6)$$

### Simulation experiment

The simulation experiments consisted in giving the trajectory in the form of a set of points from which joint variables were calculated. The obtained joint variables were introduced as a motion parameters for individual kinematic pairs in the CAD model. On this basis, a simulation was carried out, during which subsequent positions of the endoscope tip were recorded. To compare the results obtained by the simulation on the model, a second simulation using simple kinematics equations was performed. Joint variables were entered as input data for the equations, while at the output, analytically calculated manipulator tip positions were obtained. All three trajectories – the set trajectory, the trajectory determined from the CAD model simulation and the trajectory calculated using the kinematics equations – were placed on one chart in Figures 6 and 7 for comparison.

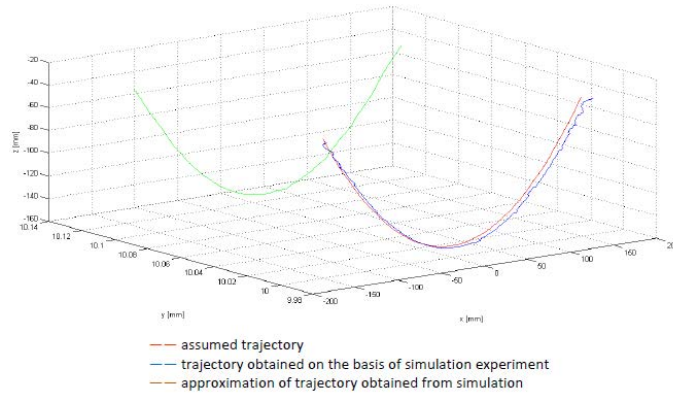


Figure 6 – Simulation of parabolic trajectory.

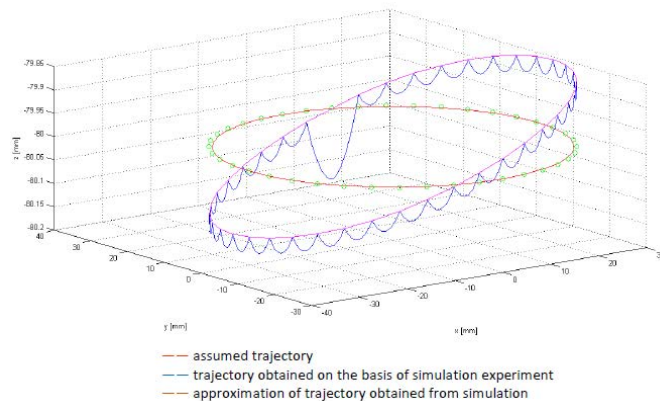


Figure 7 – Simulation of circular trajectory

CONCLUSION

During the simulation, the trajectory accuracy of 0.15mm was achieved. Irregular shapes of the trajectories determined by the simulation are due to the use of only 41 discrete points, which in practice has come to calculating 41 manipulator positions. The shape of the obtained trajectories was consistent with the set one, which proves not only the correctness of the kinematics calculations but also the methods of their testing.

The next step of the analysis should be the test of kinematics equations for more complex trajectories and test of the equations implementation in the real robot control system.

REFERENCES

- 1 **Nawrat, Z., Kostka, P.** Polish cardio-robot ‘Robin Heart’. System description and technical evaluation. *Int. J. Med. Robot.* 2006 Mar; 2(1): 36–44.
- 2 **Nawrat, Z.** Roboty i manipulatory w medycynie. W: *Mechanika Techniczna*, tom XII. – Biomechanika. Red. R. Będziński. ISBN 978-83-89687-61-6, s. 753–823.
- 3 **Craig, J.** Introduction to Robotics: Mechanics and Control., Addison-Wesley, 1993.
- 4 **Frączek, J., Wojtyra, M.** Kinematyka układów wieloczłonowych: metody obliczeniowe; Warszawa : Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2008.
- 5 **Podśędkowski, L.** RobIn Heart 0, 1, and 3 – mechanical construction development; *Bulletin of the Polish Academy Of Sciences: Technical Sciences*; Vol. 53, No. 1, 2005.
- 6 **Podśędkowski, L.** Forward and inverse kinematics of the cardio-surgical robot with non-coincident axis of the wrist. *SyRoCo* 2003, 525–530.
- 7 **Cieślik J.** Path generator for multi-member surgical manipulator with specified path optimization. *Advances in medical robotics. Uniwersytet Rzeszowski*, 2013. ISBN: 978-83-63151-04-1. 71–79.
- 8 **Cieślik, J.** Vnedrenie i razvitie robototekhniki v medicine Kazakhstana [Implementation and development of medical robotics in Republic of Kazakhstan] T. 2 = Materials of international scientific and practical conference by theme «The development of science and innovation in the modern world: problems and prospects» Shymkent : Xalqaraliq gūmanitarliq-texnikaliq universiteti, 2016. ISBN: 978-9965-03-415-2. 47–52.
- 9 **Felis, J., Jaworowski, H., Cieślik, J.** Teoria maszyn i mechanizmów. Cz. 1, Analiza mechanizmów [Theory of machines and mechanisms. Pt. 1, Analysis of mechanisms] Wydawnictwa Naukowe. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie , 2008. ISBN: 978-83-7464-181-4.

Material received on 04.06.20.

*P. Kroczek<sup>1,2</sup>, J. Cieślik<sup>1</sup>, A. Б. Болатова<sup>3</sup>, M. Т. Усербаев<sup>3</sup>*

**Robin heart vision хирургиялық роботын кинематикалық талдауы**

<sup>1</sup>Механика және робототехника факультеті,  
AGH Ғылым және технология университеті,  
Краков, 30000, Польша;

<sup>2</sup>Медициналық робототехника қоғамы,  
кардиохирургияны дамыту қоры,  
Забже, 41800, Польша;

<sup>3</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Нұр-Сұлтан, 010000, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*P. Kroczek<sup>1,2</sup>, J. Cieślak<sup>1</sup>, A. Б. Болатова<sup>3</sup>, М. Т. Усербаев<sup>3</sup>*

### **Кинематический анализ хирургического робота Robin heart vision**

<sup>1</sup>Факультет мехатроники и робототехники,  
AGH Университет науки и технологии,  
Краков, 30000, Польша;

<sup>2</sup>Общество медицинской робототехники,  
Фонд развития кардиохирургии,  
Забже, 41800, Польша;

<sup>3</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан.  
Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Осы мақалада Забже қаласындағы Жүрек хирургиясын дамыту қоры әзірлеген Robin Heart Vision хирургиялық роботына толық кинематикалық талдау ұсынылған. Талдау кинематикалық құрылым мен оның негізгі сипаттамаларын енгізуден басталады. Мақала тікелей және кері кинематиканың есептеу әдіснамасын қамтиды. Аналитикалық бөлімде әзірленген теңдеулер кейіннен авторлар жасаған алгоритмді қолдана отырып сыналады. Есептеу әдісі мен тәсілінің дұрыстығын растайтын үлгілеу жасалды.*

*В настоящей научной статье представлен полный кинематический анализ хирургического робота Robin Heart Vision, разработанный Фондом развития кардиохирургии в Забже. Анализ начинается с введения кинематической структуры и ее основных характеристик. Статья содержит вычислительную методологию прямой и обратной кинематики. Уравнения, разработанные в аналитической части, впоследствии проверяются с использованием алгоритма, созданного авторами. Проведено моделирование, которое подтвердило правильность подхода и метода расчета.*

ГРНТИ 44.29.01

**А. Б. Кайдар<sup>1</sup>, М. Б. Кайдар<sup>2</sup>, Б. К. Шапкенов<sup>3</sup>,  
В. П. Марковский<sup>4</sup>, Н. Н. Пшембай<sup>5</sup>,  
С. Толегенов<sup>6</sup>, С. Иманбек<sup>7</sup>, С. Даниленко<sup>8</sup>**

<sup>1</sup>м.т. и т., проектный менеджер, АО «Alageum Electric», г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>менеджер, ЗАО «Казтрансгаз», г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>7</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>8</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>argin\_intel@mail.ru; <sup>2</sup>m.kaidar@amangeldygas.kz;

<sup>3</sup>argin\_intel@mail.ru; <sup>4</sup>wadim54@mail.ru

## **КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

*В статье рассмотрена концепция интеллектуальной сети энергоснабжения, использующая идеи организации интернета, включая соединение продуктов и систем для создания сети компонентов, взаимодействующих друг с другом в реальном времени. Отмечается, что энергоэффективность объекта зависит от совместимости, которая позволяет компонентам самых разных систем любых производителей свободно взаимодействовать и совместно работать для достижения максимальной энергоэффективности.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, концепция, интеллектуальное электроснабжение, интеллектуальная сеть, совместимость.*

## ВВЕДЕНИЕ

Концепция «интеллектуального здания» в 80–90 годы XX века являлась попыткой выражения идеи оптимальной среды обитания на новом технологическом уровне. Интеллектуальными стали называть здания, просто оснащенные автоматикой, либо сигнализацией, либо компьютерной сетью или комбинацией этого оборудования. Даже при самых удачных сочетаниях из проектов обычно выпадала главная составляющая – оптимизация среды обитания, без которой терялся смысл создания «интеллектуального здания». Поэтому появилась необходимость при создании новых проектов четко сформулировать концепцию «интеллектуального здания». На основе материалов ведущих разработчиков систем «интеллектуального здания» и известные концепции дизайнеров интеллектуальным можно назвать здание, которое обеспечивает оптимальную среду обитания, эффективную, с точки зрения всех затрат в течение всего жизненного цикла здания – от проектирования до утилизации.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Интеллектуальная система электроснабжения (ИСЭЛ) использует открытые протоколы обмена данными между различными элементами через сетевые контроллеры, позволяя создать распределенную инфраструктуру, которая имеет высокую степень открытости для наращивания и модернизации.

В максимальной конфигурации интеллектуальная система электроснабжения (ИСЭЛ) сможет осуществлять централизованный мониторинг оборудования и управление следующими инженерно-техническими системами и комплексами:

- ввода и распределения электроэнергии;
- защиты и заземления;
- общего электроснабжения;
- аварийного электроснабжения;
- гарантированного и бесперебойного электроснабжения;
- энергосбережения и оптимизации нагрузки;
- электропитания высокотехнологического оборудования;
- контроля, управления и учета электроэнергии.

Помимо комфортной и безопасной среды обитания «интеллектуальное здание» должно обеспечивать существенную экономию на всех этапах жизненного цикла здания, начиная от проектирования, создания и заканчивая обслуживанием и эксплуатацией.

Технология «интеллектуального здания» охватывает достаточно широкую сферу. Это управление, производство, услуги, развлечения и,

наконец, жилой сектор, в состав которого входят городские квартиры и загородные дома.

Концепция построения «интеллектуального здания» должна базироваться на таких понятиях как комфорт, безопасность и экономия.

Энергосберегающие технологии, заложенные в концепцию «интеллектуального здания», позволяют экономить немалые средства на фоне все усиливающейся тенденции роста тарифов на энергоресурсы, электричество, отопление, водоснабжение.

Сегодня спрос на энергию растет быстрее предложения, т.е. мир потребляет слишком много энергии и потребляет ее неэффективно.

Передовые современные решения в области энергетики объединяют вопросы расширения мощностей генерации, в том числе из новых и возобновляемых источников, повышения эффективности использования

Энергии с цифровыми системами и называют интеллектуальными технологиями. В области энергопотребления существуют большие возможности для оптимизации конечного потребления благодаря современным технологиям, которые могут обеспечивать такой же уровень функциональности и комфорта, но используя на 30 % меньше энергии.

Энергетическая отрасль уже осознала тот факт, что интеллектуальные цифровые технологии в состоянии повысить энергоэффективность по всей цепочке от точки генерации до точки потребления. В рамках интеллектуального цифрового решения на инфраструктуру генерации, передачи, распределения и управления электроэнергией накладывается коммуникационная и вычислительная инфраструктура, обеспечивающая сбор данных и управление устройствами для целей измерения и управления энергией, повышения эффективности, надежности и безопасности, а также сокращения затрат. По данным различных статистических агентств здания потребляют более 40 % общего потребления энергии в мире, причем основные затраты энергии связаны с отоплением, охлаждением и освещением, на которые приходится примерно 25 % мировых выбросов CO<sub>2</sub>. Функционируют и каждый день строятся новые здания, которые используют больше энергии, чем необходимо.

Новаторские компании создают практичные решения для всех элементов цепочки, от интеллектуальных электросетей и промышленных процессов до систем управления инфраструктурой зданий, интеллектуальных счетчиков и датчиков для домашнего применения. Все это обеспечивает экономию для всех потребителей – от крупнейших электросетей до самых мелких пользователей.

Сегодня мир стоит на пороге новой эры, когда интеллектуальное использование энергии окажется ключевым элементом энергоэффективности,

от электростанции до розетки. Необходимые для этого технологии уже существуют и их применение приведет к быстрому и значительному изменению способов управления энергией в мире

Инвестиции в средства генерации, передачи и распределения будут играть важную роль при планировании и модернизации будущих систем электроснабжения, однако, в конечном счете, именно интеллектуальное управление энергопотреблением в «умных» коммерческих и жилых зданиях позволит добиться реальной экономии.

В условиях роста стоимости энергии и стимулов к реальному повышению энергоэффективности, все больше возрастает потребность в управлении всем зданием как интегрированной системой. «Интеллектуальное здание» позволяет владельцам добиться оптимальной выгоды и экономии благодаря объединению оборудования различных систем одного или нескольких зданий, например, отопления, вентиляции, кондиционирования, защиты от пожаров и обеспечения безопасности в единую согласованную систему автоматизации и управления. Тем не менее, несмотря на убедительные коммерческие аргументы и доступность технологий, при движении к конвергентным интеллектуальным системам многие потребители энергии сталкиваются с проблемами, мешающими построению гибкого, независимого и полностью интегрированного решения.

Государственные и неправительственные организации ведут работу для сокращения энергопотребления, загрязнения окружающей среды и выбросов парниковых газов. Они создают программы для поддержки таких усилий, включая предоставление информации, меры стимулирования и ресурсы, помогающие компаниям двигаться к общему снижению связанных с энергией операционных расходов. Во всех секторах рынка есть понимание, что такие нормы будут затрагивать не только строительство и установку новых объектов, но и существующие здания, промышленные предприятия и инфраструктуру.

Проведенные Frost&Sullivan исследования поведения потребителей в отношении эффективного использования энергии подтверждают, что проблемы связаны, главным образом, с поведением людей, финансами, личной мотивацией и знаниями о существующих возможностях. Законодательство и просвещение могут сыграть важную роль в любых процессах модернизации, затрагивающих энергоэффективность.

Интеллектуальная сеть энергоснабжения использует идеи организации интернета, включая соединение продуктов и систем для создания сети компонентов, взаимодействующих друг с другом в реальном времени. Путь к реальной энергоэффективности предприятия лежит через широкую совместимость, которая позволяет компонентам самых разных систем

любых производителей «говорить друг с другом» и совместно работать для достижения максимальной эффективности. Тем не менее в течение последнего десятилетия доминирование закрытых протоколов не позволяло обеспечить желаемый уровень открытости и замедляло развитие рынка. Открытая архитектура представляет собой ключевой фактор внедрения интеллектуальных моделей зданий, а они, в свою очередь, необходимы для связи и построения интеллектуальной сети электроснабжения

Открытая архитектура устанавливает коммуникационные протоколы, которые позволяют системам управления инфраструктурой зданий различных производителей обмениваться информацией, синхронизировать работу оборудования и добиваться оптимальной эффективности здания [2, с. 56]. Сегодня предпочтение все чаще отдается технологиям на основе открытых протоколов, открывающим широкие возможности для управления энергией и повышения эффективности, улучшающим управляемость всеми процессами [3, с. 8].

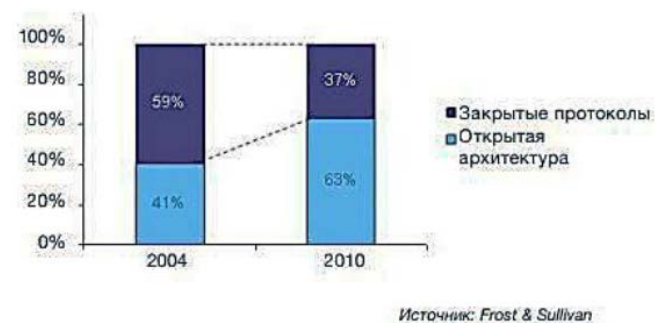


Рисунок 1 – Статистика использования автоматизированных зданий [1]

В недавнем прошлом конечные устройства-потребители энергии, например, системы отопления, вентиляции, кондиционирования, освещения или управления доступом, функционировали независимо, так как системы различных производителей чаще всего несовместимы друг с другом [4, с. 87]. Оборудованию различных производителей для обмена информацией требуются специальные шлюзы. Кроме того, возникает необходимость в специализированном программном и аппаратном обеспечении, а его установка и обслуживание связаны со значительными затратами финансов и времени. Синергетический эффект при интеграции изолированных систем расширяет набор возможных стратегий для управления разнородными продуктами и снижения энергопотребления, а конечные пользователи могут выбрать наилучшие доступные варианты с точки зрения инвестиций

и функциональности, максимального использования возможности систем управления, и способных сделать здание более энергоэффективным, экономичным и экологичным. Единый интерфейс пользователя позволяет, сократить затраты на обучение и обслуживание, при этом он готов к будущему развитию по мере роста организации.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, системы на основе открытых стандартов связи реально увеличивают ценность зданий и предприятия в целом.

Интеллектуальные решения для управления и контроля в «умных зданиях» подразумевают конвергенцию систем управления инфраструктурой зданий и энергией с системами безопасности, защиты от пожаров и жизнеобеспечения, коммуникационными системами, серверными залами, устройствами автоматизации и специализированными вертикальными приложениями, направленную на построение гибкой, устойчиво функционирующей и экономичной среды здания. На сегодняшний день управление энергией часто остается пассивным, что ограничивает крупномасштабное применение интеллектуальных решений. Главной причиной осуществляемых потребителями некоторых изменений по модернизации и повышению энергоэффективности остается сокращение затрат.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Статистика использования автоматизированных зданий. Интернет ресурс/ [https:// frost & sullivan > Document](https://frost&sullivan.com/document).

2 **Шапкенов, Б. К.** Охрана труда и техника безопасности/для энергетиков Учебник. Павлодар : ЭКО, 2010. – 514 с. ISBN 978-601-284-002-5.

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей: Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Керек, 2016. – 153 с. ISBN978-601-238-674-5.

4 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б.** Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. ISBN 978-601-310-762-2.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*А. Б. Кайдар<sup>1</sup>, М. Б. Кайдар<sup>2</sup>, Б. К. Шапкенов<sup>3</sup>, В. П. Марковский<sup>4</sup>, Н. Н. Пшембай<sup>5</sup>, С. Толегенов<sup>6</sup>, С. Иманбек<sup>7</sup>, С. Даниленко<sup>8</sup>*

### Зияткерлік қуатты қамтамасыз ету

<sup>1</sup>«Alageum Electric» АҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>«Казтрансгаз» ЖАҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3,4,5,6,7,8</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. B. Kaidar<sup>1</sup>, M. B. Kaidar<sup>2</sup>, B. K. Shapkenov<sup>3</sup>, V. P. Markovskiy<sup>4</sup>, N. N. Pshembay<sup>5</sup>, S. Tolegenov<sup>6</sup>, S. Imanbek<sup>7</sup>, S. Danilenko<sup>8</sup>*

### Intellectual power supply concept

<sup>1</sup>JSC «Alageum Electric»,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>JSC «KazTransGas»,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3,4,5,6,7,8</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада интернетті ұйымдастыру идеяларын, соның ішінде нақты уақыт режимінде бір-бірімен өзара әрекеттесетін компоненттер желісін құруға арналған өнімдер мен жүйелерді қосуды қоса отырып, интеллектуалды электрмен жабдықтау желісі туралы түсінік қарастырылады. Нысанның энергия тиімділігі кез-келген өндірушінің әртүрлі жүйелерінің компоненттеріне барынша тиімділікке қол жеткізу үшін өзара әрекеттесуге және бірлесіп жұмыс жасауға мүмкіндік беретін үйлесімділікке байланысты екендігі атап өтілді.*

*The article discusses the concept of an intelligent power supply network using the ideas of organizing the Internet, including connecting products and systems to create a network of components that interact with each other in real time. It is noted that the energy efficiency of the facility depends on compatibility, which allows the components of various systems of any manufacturers to freely interact and work together to achieve maximum energy efficiency.*



**А. Б. Кайдар<sup>1</sup>, М. Б. Кайдар<sup>2</sup>, Б. К. Шапкенов<sup>3</sup>,  
В. П. Марковский<sup>4</sup>, Н. Н. Пшембай<sup>5</sup>, С. Толегенов<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>м.т. и т., проектный менеджер, АО «Alageum Electric», г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>менеджер, ЗАО «Казтрансгаз», г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>argin\_intel@mail.ru; <sup>2</sup>m.kaidar@amangeldygaz.kz;

<sup>3</sup>argin\_intel@mail.ru; <sup>4</sup>wadim54@mail.ru

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИЛИЩНО КОММУНАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ**

*Введение новых технологий, возрождение промышленных установок, потребление возобновляемых источников энергии, переработка тепловой энергии – требуют больших затрат. С годами опыт зарубежных стран показал, что можно уменьшить необходимость в энергии благодаря изменению привычек самого человек. Люди часто не обращают внимания на экономию в быту, а ведь обычное самоограничение, утепление своего дома, позволит сэкономить немалые деньги при оплате коммунальных услуг. Если вы хотите, чтобы у вас в комнате тепло осталось надолго, необходимо утеплить дом полностью. В статье рассмотрены наиболее распространенные и актуальные способы экономии энергии в доме. Авторы дают возможность выбрать удобный способ экономии не только электроэнергии, но и водопотребления, и газа, что значительно позволит сэкономить бюджет любой семьи. Трудности энергосбережения с недавних времен стали актуальными, и сферу домостроения не прошли стороной. Авторы показывают, что одной из тенденции современного мира стали, так называемые пассивные дома, исключительностью которых*

*стала крайне низкое энергопотребление, иногда доходящее до нуля. Так же, в статье подробно рассмотрена система популярного и нашумевшего Интеллектуального дома, который дает возможность забыть об управлении энергоснабжением, отоплением, водопроводом и канализацией, вентиляцией и кондиционированием. С помощью интеллектуальной автоматизации индивидуальная система «умного дома» работает во взаимосвязи с другими, в приемлемом для нее режиме, экономя тем самым деньги и время. Ежедневное повышение цен на электроэнергию вынуждает людей искать наиболее приемлемые методы по энергосбережению в быту. Сохранение электроэнергии в квартирах стало оптимальным решением для большинства жителей. На основе проведенного исследования авторы показывают, что экономя это не только хороший способ сберечь свой бюджет, но и возможность значительно упростить себе жизнь.*

*Ключевые слова: энергосбережение, тепловая энергия, пассивный дом, система умного дома, электроэнергия, автоматизация, теплоизоляция, пароизоляция.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Среди факторов, негативно влияющих на энергоэффективность отечественной экономики, следует указать на: доминирование в отраслевой структуре энергоемких производств; изношенность основных фондов предприятий и, соответственно, большие лишние потери энергоносителей и энергии; недостаточную оснащенность производства и непромышленной сферы (в первую очередь, жилищного фонда) современными приборами учета; недостаток инвестиций; недостаточное нормативно-правовое и институциональное обеспечение политики энергоэффективности. Однако, опыт зарубежных стран показал, что можно повысить энергоэффективность благодаря изменению поведения самого человека [1]. Последнее вовсе не означает снижения жизненного благоустройства, поскольку из всей потребляемой в быту энергии человек большую часть (79 %) использует на отопление, 15 % энергии расходуется на тепловые процессы (в первую очередь, подогрев воды, приготовление пищи и т.д.), 5 %-на бытовую технику и лишь 1 %-на освещение, радио и телевизионную технику [2].

Энергосбережение в зданиях – проблема весьма актуальна сегодня, а к ее решению следует применить системный подход. В данной статье определена значимость современных технологий в области энергосбережения ЖКХ и рассмотрены примеры применения современных энергосберегающих технологий в быту.

Объектом исследования данной статьи является поиск наиболее оптимальных решений по энергосбережению в быту.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Микроклимат в доме имеет большое значение. Показатели температуры, влажности, свежести воздуха влияют на здоровье человека и его работоспособность. Создать оптимальный микроклимат вы можете с помощью системы «умный дом», которая самостоятельно по заданному сценарию обеспечит необходимый комфорт.

В системе «умный дом» нужный микроклимат в помещении достигается благодаря совместной работе целого комплекса приборов. Это могут быть отопительные котлы, радиаторы отопления, системы теплого пола, увлажнители и осушители воздуха, кондиционеры, системы вентиляции и многое другое. Благодаря автоматическому управлению всеми этими устройствами можно задать наиболее комфортные условия с учетом погоды, времени дня, года и многих других параметров.

Возможности такой системы достаточно широки. Прежде всего, жилое пространство можно разделить на отдельные климатические зоны и установить в каждой из них свои параметры воздуха, график проветривания, нагрева. Например, в спальне или детской добиться необходимой прохлады для здорового сна, а на кухне избавиться от запаха приготовленной пищи. Кроме того, в период отсутствия хозяев дома такую систему можно перевести на экономный режим работы либо полностью отключить отопление. А к своему приезду заранее «заказать» погоду в доме.

Учёт энергоресурсов. Люди часто не обращают внимания на экономию в быту, а ведь только установка в жилом помещении счетчиков потребления воды и тепла, в дополнение к счетчику потребления электроэнергии, утепление собственного дома (квартиры), позволит сэкономить значительные суммы при оплате коммунальных услуг. Следуя индивидуальным нормам энергопотребления, человеку будет легче организовать энергосбережение и на больших предприятиях. Возникнет понимание значимости этих норм, благодаря чему экономичное поведение, доведенное до автоматизма в домашних условиях, перейдет в сферу профессиональной деятельности, гарантируя экономию энергоресурсов.

Экономия тепла. Использование активных и пассивных систем хранения тепловой энергии в малоэтажных домах на сегодня является не только желательным, но и необходимым условием выполнения действующих норм по теплосбережению.

Основными факторами энергоэффективности являются качество тепловой защиты ограждающих конструкций, обеспечения требований

теплового комфорта помещений, использование энергосберегающих систем, технологий и мероприятий.

Согласно результатам исследований влияния использования теплоизолирующих материалов, в жилых домах можно говорить об их высокой эффективности в уменьшении теплопотерь здания через ограждающие конструкции.

Тепловые потери зависят прежде всего от:

- разницы температур внутри и снаружи здания (чем больше разница, тем выше потери);
- теплозащитных свойств ограждающих конструкций (стен, окон, перекрытий и т.п.).

Таким образом, при утеплении малоэтажных зданий необходимо утеплять их полностью.

Рассмотрим возможности различных технологий теплосбережения в порядке убывания их эффективности.

Вентиляция. Основным резервом энергосбережения является вентиляция. Обычно используют механическую вытяжную вентиляцию, в которой есть собственный регулятор и даже утилизатор тепла вытяжного воздуха.

Внешняя теплоизоляция. Стоимость теплоизоляции относительно стоимости дома достаточно мала. На теплоизоляции в коем случае нельзя экономить, особенно для комфортного проживания на больших площадях. Цены на энергоносители во всем мире повышаются, поэтому вопрос энергозатратности является актуальным.

Утепляющим материалом следует изолировать здание снаружи, поскольку наружное утепление стен намного эффективнее внутреннего. В дополнение к наружному утеплению, в самом доме между отопительным прибором и стеной следует поместить экран из фольги.

Наружные стены можно дополнительно покрасить краской, произведенной на основе светоотражающих микрогранул, которые также помогут сохранить тепло в доме, одновременно повышая комфортность жилья в летний период, сохраняя прохладу в помещении [2].

Утепление необходимо рассматривать в комплексе с воздухопроницаемостью стен. Если повышение теплового сопротивления стен связано со значительным уменьшением воздухопроницаемости, то не следует его применять. При этом следует отметить, что нередко неправильное применение теплоизоляции приводит к ухудшению санитарно-гигиенических свойств жилья.

Установка оконных стеклопакетов. Для предотвращения потерь тепла через окна одновременно с трехслойным остеклением сейчас широко

используются стеклопакеты. Оконные системы на основе стеклопакетов подразделяются на три группы: пластиковые, алюминиевые и деревянные. Оконные системы на основе поливинилхлоридных профилей могут формироваться с использованием теплоизоляционных материалов и армироваться металлом для усиления несущих свойств больших поверхностей. Алюминиевые оконные системы для повышения теплоизоляции требуют также использование теплоизолирующих материалов. Окна с металлическим профилем, учитывая их прочность и химическую стойкость, лучше использовать в промышленных и административных зданиях.

Внутренняя теплоизоляция. Одним из вариантов утепления стен изнутри, без повышения толщины стен, является использование жидких обоев [3], которые, без сомнения, имеют значительные преимущества над бумажными, и виниловыми. Дополнительным теплонакопителем также является утепленный пол, созданный из стяжки с замоноличенными трубами [4]. При этом тепло обратной воды системы теплоснабжения можно использовать для напольного отопления в ванных комнатах.

Установка регулирующих и контрольных приборов. Экономить топливо при отоплении жилища позволяет установка терморегулятора [3], который будет автоматически регулировать потребление тепла, приостанавливая его подачу при достижении необходимой (установленной) температуры, что дополнительно повышает комфортность, предотвращая духоту в помещении. Использование контроллеров позволяет оптимизировать затраты тепла на отопление и вентиляцию дома, что имеет особое значение для контроля и регулирования микроклимата [1].

Утепление крыши и применение гелиосистем. Утеплить крышу сможет чердак. Однако, не рекомендуется использовать при его утеплении влажный утеплитель, поскольку он значительно повышает теплопотери. Крыша также может служить вспомогательным пространством для устройства энергосберегающих гелиосистем (систем солнечных батарей) [1]. При этом сокращаются затраты на отопление зимой, а цена гелиосистемы несущественно выше цены газовой системы отопления.

**Экономия электроэнергии.** Помимо сокращения затрат на отопление, использование гелиосистем позволит значительно сократить затраты на электричество, снизив при этом экологическую нагрузку на окружающую среду. Электрические энергосберегающие гелиосистемы устанавливаются индивидуально для каждого малоэтажного дома, причем их параметры зависят от географического расположения дома. В отдельных случаях использование солнечных батарей позволит полностью отказаться от внешних поставок электроэнергии. Следует отметить, что существуют солнечные батареи, позволяющие получать электроэнергию даже при

наличии облачности, при этом их производительность снижается всего на 15–20 % [2].

Экономия на электричестве так же происходит и за счет энергосберегающих ламп (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет годовой экономической эффективности замены лампы накаливания на энергосберегающую лампу

Мощность, Вт		Потребление электроэнергии, кВт·ч/год		Оплата электроэнергии, тенге/год		Годовая экономия семейного бюджета при замене 1 лампочки	
						кВт·ч	тенге
40	9	80	18	19 080	4 293	62	14 787
60	11	120	22	28 620	5 247	98	23 373
100	20	200	40	47 700	9 540	160	38 160

При использовании светодиодных ламп последнего поколения энергосбережение будет еще выше.

Использование бытовой техникой класса «А» также позволяет значительно снизить энергопотребление.

В больших коттеджах эффективно применение двухтарифного электросчетчика, позволяющее сэкономить на бытовых приборах, которые включают в ночное время суток: стиральная машина, водонагреватель, или электричество для отопления дома. При этом целесообразно применение теплонакопителя для отопления дома, который в ночное время накапливает энергию, а днем ее распределяет в автоматическом режиме [2].

**Экономия горячего водопотребления.** На данный момент получили широкое распространение компактные системы гелионагрева воды, причиной чего стали безопасность, общедоступность и низкая эксплуатационная стоимость указанных систем, в состав которых входят: гелиобатареи, теплообменник, энергосберегающий бак для горячей воды и соединяющие элементы. Такого рода системы эффективны в использовании на воде из скважины, причем в летний период вода нагревается на солнце, благодаря емкости для воды и черному соединительному шлангу [2]. В целом, использование компактных систем гелионагрева позволяет сэкономить около 1000 литров воды в день [2].

**Экономия газа.** В жилом доме газ используется для нагрева воды, приготовления пищи, отопления дома в целом. Климатические условия нашей страны вынуждают россиян к неуклонному потреблению газа, что вследствие постоянного роста цен на газ, наносит значительный урон семейному бюджету. Поэтому проблема экономии газа на сегодняшний день является очень актуальной.

Одним из вариантов повышения энергоэффективности жилья является индивидуальное снижение показателей потребления газа [2], посредством установки счетчиков газа. Плата, которая осуществляется в соответствии с показателями счетчика, значительно меньше средних показателей, поскольку оплачивается только тот газ, который непосредственно потребляется. В быту, как правило, используют четыре варианта счетчиков: ротационные, диафрагменные, турбинные газовые счетчики и вихревые расходомеры. Нужный счетчик выбирается исходя из используемых приборов. Величина определяемого счетчиком газа вычисляется по его номинальной пропускной способности [2]. Например, пропускная способность счетчика с маркировкой G-1,6 равняется от 1,6 до 2,5 м<sup>3</sup> газа, счетчик с маркировкой G-2,5 соответствует 2,5–4 м<sup>3</sup>, G-4, допускает 4–6 м<sup>3</sup> газа и т.д. Если узнать потребление газа за один час применяемого прибора в инженерном паспорте, то можно без проблем вычислить общий расход и тип счетчика [3].

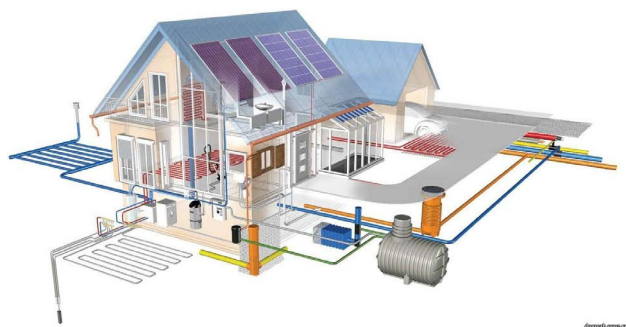


Рисунок 1

**Пассивный дом.** Проблема энергосбережения, ставшая с недавних времен актуальной, не обошла стороной и сферу домостроения. Тенденцией современного мира стали, так называемые, пассивные дома (рисунок. 1), отличительной характеристикой которых является крайне низкое энергопотребление, иногда доходящее до нуля. Идея пассивного дома состоит в строительстве такого здания, которое в состоянии поддерживать комфортные условия проживания максимально долго без потребления энергии извне, это

пример замкнутой системы, которая не требует постороннего вмешательства для своего существования.

Появление новых стеновых материалов, надежных утеплителей, инновационной инженерии, так же привело к реальному снижению расходов на отопление частного дома практически до нулевой отметки. Высокоэффективное утепление, отсутствие мостиков холода в материалах и узлах примыканий, расположение здания и ориентация по сторонам света, герметичность, зонирование комнат, позволяют снизить теплопотери до минимально возможного уровня.

Одним из значимых факторов подобного снижения можно считать систему приточно– вытяжной вентиляции. При этом необходимо, чтобы указанная система была грамотно спроектирована, иначе потери тепла будут составлять 20–25 %. Для ее эффективного функционирования в системе вентиляции необходима установка рекуператоров, которые будут гарантировать экономию энергии на нагрев холодного приточного воздуха за счет использования тепла, удаляемого наружу теплого. В наиболее оптимальном варианте, пассивный дом может обогреваться лишь благодаря теплоотдаче от бытовых приборов и даже биотеплом обитателей пассивного дома. При этом вспомогательный обогрев может осуществляться с помощью теплового насоса или солнечных водонагревателей [1].

Таким образом, пассивный дом – это дом, максимально продуктивный в аспекте энергопотребления, поскольку минимизирует траты на отопление. Однако, при его строительстве могут появиться опасения возникновения внутриэкологических проблем, поскольку непроницаемость постройки может привести к некачественному составу воздуха в помещении с низким содержанием кислорода и высокой влажностью, способствующей размножению микроорганизмов: бактерий и грибов. Тем не менее, в профессионально построенном с учетом всех нормативов доме, с грамотно установленными гидро-, тепло- и пароизоляцией стены в помещениях будут гарантированно сухими, а система вентиляции и кондиционирования наполнит комнату свежим воздухом.

**Умный дом.** В противовес традиционным схемам организации жилья, в которых каждый элемент задуман и реализуется как самостоятельная функциональная единица, в последнее время возникла и успешно развивается концепция «здание, сделанное с умом» (intelligent building), которая предусматривает интеграцию систем, обеспечивающих комфорт и безопасность проживания человека в доме (самоконтроль систем водоснабжения, отопления, энергосбережения и т.д.). Таким образом, «умный дом» дает возможность забыть об управлении энергоснабжением, отоплением, водопроводом и канализацией, вентиляцией и кондиционированием.

С помощью интеллектуальной автоматизации, индивидуальная система «умного дома» (рис. 2) работает во взаимосвязи с другими в приемлемом для нее режиме, с минимальными финансовыми и временными затратами. Как считают исследователи, «дом будет навсегда избавлен от ненужных протечек, отопительные приборы не будут в пустую обогревать комнату с открытыми окнами, а новейшие технологии помогут вам узнать о любых неполадках в системе, благодаря дистанционному оповещению» [2], что приводит к следующему перечню основных назначений системы «умный дом»: благоустроенность, безвредность, экономия электроэнергии, автоматизация помещений, исправность.

Система «умный дом» позволяет снизить расходы на электроэнергию. При этом неиспользуемые приборы будут автоматически отключаться, благодаря чему прослужат дольше в эксплуатации.

Одной из наиболее дорогостоящих коммунальных услуг является отопление, на которое, как правило, тратится около 70 % энергии, расходуемой в доме [2]. Благодаря интеллектуальной системе «умный дом» помещение не будет обогреваться в отсутствие жильцов при сохранении микроклимата с минимальной величиной энергозатрат. То есть в присутствии жильцов в помещениях дома поддерживается необходимая температура 21 °С, а в их отсутствие температура воздуха снижается до 16 °С, что позволяет экономить до 30 % энергозатрат на отопление. Система «умный дом» равномерно распределяет нагрузку, своевременно отключая бытовые приборы, при этом амортизация последних снижается, поскольку они полностью отключаются от сети, а не находятся в режиме ожидания. Та же интеллектуальная система управляет и водоснабжением [2].



Рисунок 2 – Система «Умный дом»

В системе «умный дом» имеются в наличии датчики движения, благодаря которым функционирует освещение, отслеживая нахождение людей в помещении, что позволяет в целом экономить около 50 % электроэнергии на освещение. Помимо этого, интеллектуальный комплекс имеет функцию равномерного освещения, посредством которой сохраняется здоровое зрение и экономится от 14 до 20 % электроэнергии.

В последнее время стала модной новая схема удаленного управления интеллектуальными системами «умный дом» с компьютера или мобильного телефона. В первом случае создают web-страницу, с которой контролируют домашние приборы, а во втором

– используют сервер, который преобразует сигналы телефона в сигналы для процессора.

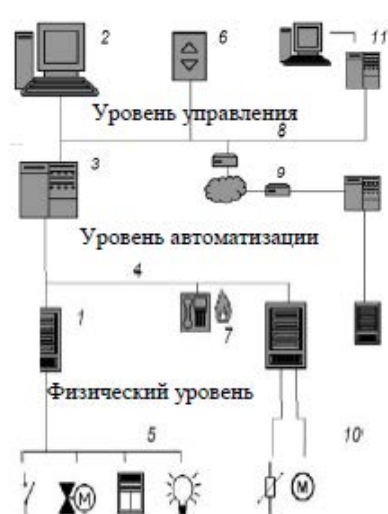
При этом система автоматизации «умного дома» (Intelligent building automation systems, IBAS) может рассматриваться как автоматизация процессов, большинство из которых находятся в области систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (heating, ventilation, airconditioning, HVAC) [3].

Основные элементы IBAS показаны на рис. 3. В этой модели аспекты системной функциональности разбиты на три уровня, представляя воплощение автоматизированной пирамиды для BAS [4].

На физическом уровне происходит взаимодействие с окружающим миром. Данные об окружающей среде собираются (измеряются, ведутся) и превращаются в вид, приемлемый для обработки и передачи. Так же параметры окружающей среды (внутри дома) физически контролируются и управляются (переключение, установка, размещение) в ответ на команды, полученные от системы управления дома.

Автоматическое управление, в том числе всех видов автономно выполняемых последовательностей, приравнивается к уровню автоматизации. Оно работает на основе данных, подготовленных физически, устанавливая логические связи и контуры управления.

На уровне управления доступна информация обо всей системе. Оператору для ручного вмешательства предоставлен специальный унифицированный интерфейс. При этом предоставляется вертикальный доступ к значениям уровня автоматизации, включая право на изменение параметров мониторинга.



1 – станции прямого цифрового управления DDC; 2 – рабочая станция оператора; 3 – серверная станция/ контроллер наблюдения; 4 – сеть автоматизации; 5 – сеть физического уровня; 6 – система управления лифта; 7 – система противопожарной тревоги; 8 – сеть управления; 9 – беспроводной туннель к другим коммуникационным системам; 10 – соединения; 11 – центр управления системой CAFM

Рисунок 3 – Трехуровневая функциональная иерархия автоматизации здания

Предупреждение генерируются в исключительных ситуациях при технических неисправностях или критических ситуациях. Длительное хранение и накопление данных с возможностью генерации отчетов и статистики, также считается частью этого уровня.

Структуру IBAS можно выбрать так, чтобы фактически распределить описанные выше функции по отдельным устройствам, как показано на рис. 3: датчики и приводы или присоединены к контроллерам по стандартным интерфейсам или с помощью местной сети физического уровня. Управление процессами осуществляется с помощью станций прямого цифрового управления, или DDC-станций (direct digital control, DDC). Серверная станция выполняет надзорный контроль (например, в центральной приборной комнате, или в крыле здания). Надзорные блоки и контроллеры связаны между собой с помощью своей сети автоматизации. Если необходим обмен данными, то дистанционные станции объединяются в сеть управления через модемное соединение (или беспроводной тоннель). Предупреждающие сообщения могут быть переданы оператору через SMS-сообщения или по электронной почте [3].

Исходя из выше сказанного, основные функции IBAS следующие:

- предоставление разнообразных сервисных услуг, при этом через разработанные программные интерфейсы объединять все подсистемы,

необходимые для работы «умного дома», и функционально интегрирует функции управления, контроля, доступа к информационным ресурсам;

- поддержка единой системы адресации в сети (закрытая, частично открыта, открытая – уточняется в процессе разработки для каждого дома);
- поддержка различных технологий передачи данных внутри сети: беспроводных, проводных технологий и технологий передачи данных в промышленных сетях;

- выполнение функций шлюзов между сетями автоматизированных систем и внешними специализированными сетями (поддержка необходимых протоколов и их конвертация);

- обеспечение доступа к внешним сетям общего пользования (сеть Интернет, телефонные сети, сети операторов мобильной и фиксированной связи) – выполнение функции универсального сервера доступа;

- обеспечения защищенной связи;

- сервер системы «умный дом» является неотъемлемой частью телекоммуникационной сети.

### ВЫВОДЫ

Рост тарифов на электроэнергию вынуждает потребителей к поиску наиболее приемлемых методов энергосбережения в быту, в связи с чем сохранение электроэнергии в квартирах стало оптимальным решением для большинства жителей.

Тем не менее, одной из наиболее актуальных проблем нашей страны является реализация государственной программы Республики Казахстан «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

Сегодня энергосбережение из популярного лозунга постепенно превращается в насущную необходимость, а глобальная борьба с выбросами парниковых газов, диктует требования кардинального изменения отношения к энергосбережению. В этот процесс необходимо вовлечь органы власти, общественные организации, население Казахстана.

Снижение потребления энергоресурсов и увеличение мощности систем энергоснабжения – это взаимосвязанные процессы и должны рассматриваться при энергетическом планировании совместно. Энергосберегающие мероприятия действительно позволяют экономить энергию, энергетические ресурсы, являются ключом к повышению уровня жизни, сохранению окружающей среды. Эти мероприятия не требуют материальных затрат и зависят только от личной осведомленности и заинтересованности людей. Энергосбережение можно назвать новым источником энергии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Статистика использования автоматизированных зданий. [Электронный ресурс]. – [https:// frost & sullivan > Document](https://frost & sullivan > Document).

2 **Шапкенов, Б. К.** Охрана труда и техника безопасности/для энергетиков Учебник. – Павлодар : ЭКО, 2010. – 514 с. – ISBN 978-601-284-002-5.

3 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей : Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN 978-601-238-674-5.

4 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б.** Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей : монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*А. Б. Кайдар<sup>1</sup>, М. Б. Кайдар<sup>2</sup>, Б. К. Шапкенов<sup>3</sup>, В. П. Марковский<sup>4</sup>, Н. Н. Пшембай<sup>5</sup>, С. Толегенов<sup>6</sup>*

**Тұрғын үй және құрылыс комплексіндегі энергия технологиялары**

<sup>1</sup>«Alageum Electric» АҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>«Казтрансгаз» ЖАҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3,4,5,6</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*А. В. Kaidar<sup>1</sup>, М. В. Kaidar<sup>2</sup>, В. К. Shapkenov<sup>3</sup>, V. P. Markovskiy<sup>4</sup>, N. N. Pshembay<sup>5</sup>, S. Tolegenov<sup>6</sup>*

**Energy-saving technologies in the housing and municipal complex**

<sup>1</sup>JSC «Alageum Electric»,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>JSC «KazTransGas»,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3,4,5,6</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Жаңа технологияларды енгізу, өнеркәсіптік қондырғыларды жаңғырту, жаңартылатын энергия көздерін тұтыну, жылу энергиясын қайта өңдеу-үлкен шығындарды талап етеді. Жылдардан бері шет елдердің тәжірибесі адамның өз әдеттерін өзгерту арқылы энергия қажеттілігін азайтуға болатынын көрсетті. Адамдар тұрмыстағы үнемдеуге жиі назар аудармайды, ал қарапайым өзін-өзі шектеу, өз үйін жылыту коммуналдық қызметтерді төлеу кезінде біраз ақшаны үнемдеуге мүмкіндік береді. Егер сіз бөлмеде ұзақ уақыт жылу қалғыңыз келсе, үйді толық жылыту қажет. Мақалада үйде энергияны үнемдеудің ең кең таралған және өзекті тәсілдері қарастырылған. Авторлар электр энергиясын ғана емес, су тұтынуы да, газды да үнемдеудің қолайлы әдісін таңдауға мүмкіндік береді, бұл кез келген отбасының бюджетін үнемдеуге мүмкіндік береді. Энергия үнемдеудің қиындықтары жақында өзекті болды, және үй құрылысы саласын айналып өткен жоқ. Авторлар қазіргі заманғы әлемнің беталысының бірі-пассивті үйлер деп аталатын, кейде нөлге дейін жеткен өте төмен энергия тұтыну ерекше болып отыр. Сонымен қатар, эмер-Мемжабдықтау, жылыту, су құбыры және кәріз, желдету және кондиционерлеу туралы ұмытуға мүмкіндік беретін танымал және атышулы Зияткерлік үй жүйесі де жан-жақты қарастырылған. «Ақылды үй» зияткерлік автоматтандыру көмегімен, ол үшін қолайлы режимде, ақша мен уақытты үнемдей отырып, басқалармен өзара байланыста жұмыс істейді. Электр энергиясына бағаның күн сайын көтерілуі адамдарды тұрмыста энергия үнемдеу бойынша ең қолайлы әдістерді іздеуге мәжбүр етеді. Пәтерлерде электр энергиясын сақтау көптеген тұрғын үйлер үшін оңтайлы шешім болды. Жүргізілген зерттеу негізінде авторлар экономия өз бюджетін сақтаудың жақсы тәсілі ғана емес, сонымен қатар өз өмірін жеңілдетудің мүмкіндігі де екенін көрсетеді.*

*The introduction of new technologies, the revival of industrial installations, the consumption of renewable energy sources, and the processing of thermal energy require large expenditures. Over the years, the experience of foreign countries has shown that it is possible to reduce the need for energy by changing the habits of the individual. People often do not pay attention to savings in everyday life, but the usual self-restraint, warming your home, will save a lot of money when paying for utilities. If you want to keep your room warm for a long time, you need to insulate the house completely. The article discusses the most common and relevant ways to save energy in the house. The authors make it possible to choose*

*a convenient way to save not only electricity, but also water and gas consumption, which will significantly save the budget of any family. The difficulties of energy saving have recently become relevant, and the sphere of housing construction has not passed by. The authors show that one of the trends of the modern world has become the so-called passive houses, the exclusivity of which has become extremely low energy consumption, sometimes reaching zero. Also, the article describes in detail the system of a popular and acclaimed Intellectual house, which makes it possible to forget about the management of energy supply, heating, water and sewerage, ventilation and air conditioning. With the help of intelligent automation, the individual smart home system works in conjunction with others in a way that is acceptable to it, thus saving money and time. The daily increase in electricity prices forces people to look for the most acceptable methods of energy saving in their everyday life. Saving electricity in apartments has become the optimal solution for most residents. Based on the research, the authors show that economy is not only a good way to save your budget, but also an opportunity to significantly simplify your life.*

ГРНТИ 53.03.09

**Б. С. Келаманов<sup>1</sup>, Е. У. Жумагалиев<sup>2</sup>, А. М. Акуов<sup>3</sup>,  
Е. К. Самуратов<sup>4</sup>, Н. І. Аманкелді<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., зав. кафедрой, Технический факультет, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, г. Актюбе, 030000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, Технический факультет, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, г. Актюбе, 030000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., ст. преподаватель, Технический факультет, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, г. Актюбе, 030000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., ст. преподаватель, Технический факультет, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, г. Актюбе, 030000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистрант, Технический факультет, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, г. Актюбе, 030000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>kelamanov-b@mail.ru; <sup>2</sup>erlan\_zhumagalie@mail.ru;

<sup>3</sup>akuov.am@mail.ru; <sup>4</sup>samuratov.ek@mail.ru; <sup>5</sup>naz\_amaneldi@mail.ru

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ-ДИАГРАММНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ Fe-V-Si-AL**

*В статье приведены результаты расчета термодинамических параметров соединений, образующихся между компонентами системы. Проведен полный термодинамически-диаграммный анализ системы Fe-V-Si-Al с учетом конгруэнтных соединений. На основе полного термодинамически-диаграммного анализа справочных термодинамических данных построена четырехкомпонентная система Fe-V-Si-Al и создана ее математическая модель фазовой структуры. В результате, установлено, что данная система состоит из 12 элементарных тетраэдров.*

*Ключевые слова: феррованадий, система Fe-V-Si-Al термодинамически-диаграммный анализ, тетраэдрация.*



ВВЕДЕНИЕ

В теории и практике металлургии важное значение имеет изучение состояния материалов, вовлекаемых в металлургический передел, в зависимости от температуры и давления. Однако классическое термодинамическое исследование процессов, в сложных системах требует применения сложных математических расчетов и связано с необходимостью определения термодинамических параметров большого количества независимых реакций. Часто ограничены или отсутствуют данные по ряду свойств веществ, необходимые для определения изменения свободной энергии Гиббса реакций, что в подобных случаях вообще исключает возможность термодинамического анализа многокомпонентных систем. Последний, к тому же, не учитывает особенности промежуточных стадий процесса, так как оперирует только с входными и выходными параметрами процесса [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Система V-Si (рисунок 1(а)). Известны силициды ванадия  $V_3Si$ ,  $V_5Si_3$ ,  $V_5Si_4$  и  $VSi_2$ . Границы области гомогенности  $V_3Si$  проходит в пределах 21,4 и 25 Si. Температура эвтектидного равновесия  $V_6Si_5 = VSi_2 + V_5Si_3$  составляет 1160K. Энтальпия образования силицида  $V_5Si_3$   $\Delta H_{298^\circ} = -402$  кДж/моль,  $VSi_2 - \Delta H_{298^\circ} = 113$  кДж/моль [2].

Система V-Al (рисунок 1(б)). В системе образуется ряд химических соединений ванадия с алюминием. Алуминиды  $VAl_3$  и  $V_5Al_8$  плавятся инконгруэнтно. В системе установлены соединения  $Al_{21}V_2$ ,  $Al_{45}V_7$ ,  $Al_{23}V_4$ ,  $Al_3V$ ,  $Al_9V_5$  которые образуются по перитектическим реакциям при температурах 670, 688, 736, 1360, 1670 °C соответственно [3].

Система Fe-Si (рисунок 1(в)). С железом кремний сплавляется в любых соотношениях и образует ряд силицидов –  $Fe_2Si_3$ ,  $FeSi$ ,  $FeSi_2$ ,  $Fe_3Si_2$  и др., из которых наиболее прочным является ферросилиций  $FeSi$  температура плавления ферросилиция  $FeSi$  1410 °C. В системе Fe-Si существуют три эвтектики: первая, соответствующая содержанию 20 % кремния Si и температуре плавления 1195 °C, вторая – 51 % Si и 1212 °C и третья – 59 % кремния и 1207 °C [4].

Система Fe-Al (рисунок 1(г)). В сплавах системы Fe-Al образуется пять стабильных фаз:  $Fe_3Al$ ,  $FeAl_2$ ,  $Fe_2Al_3$ ,  $FeAl_3$  каждая из которых, обладает определенной областью гомогенности. Al реализуется вырожденное перитектоидное превращение, точку с указанными выше координатами называют иногда двойной точкой Кюри [5].

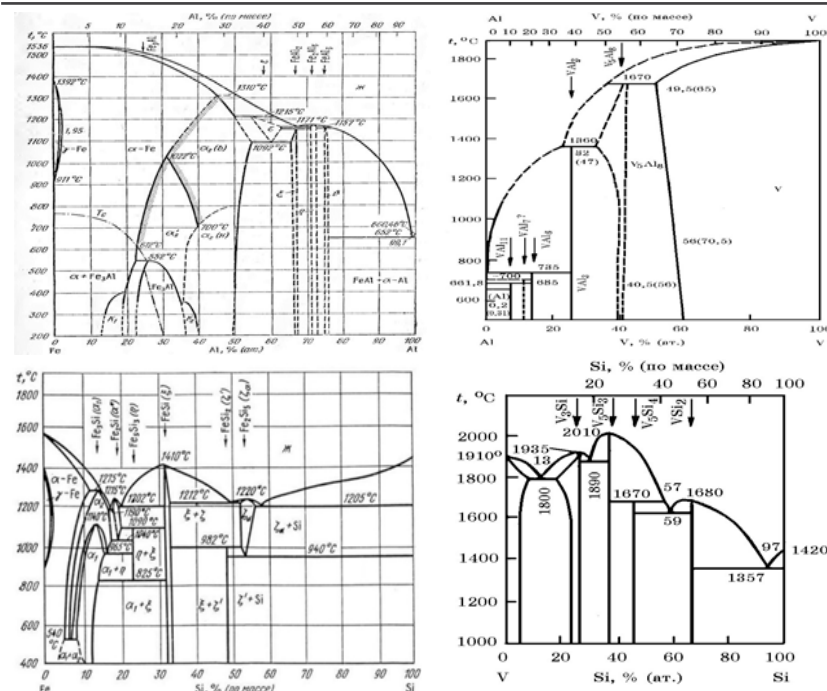


Рисунок 1 – Диаграммы равновесного состояния систем V-Si, V-Al, Fe-Si, Fe-Al

Исследований многокомпонентных систем известен так называемый термодинамически-диаграммный метод анализа, который значительно упрощает исследование особенности фазовых превращений в многокомпонентных системах посредством разбиения их на термодинамически устойчивые элементарные частные подсистемы той же мерности, что и основная. Результаты расчета термодинамических параметров приведены в таблице 1. Фазовый состав феррованадия можно охарактеризовать четырехкомпонентной системой Fe-V-Si-Al. При исследовании металлической системы Fe-V-Si-Al методом термодинамически-диаграммного анализа необходимо исходить от разбивки граничных подсистем на элементарные тетраэдры. Для этого требуется в первую очередь описать металлические соединения различной сложности, составляющих рассматриваемую систему.

Таблица 1 – Результаты расчета термодинамических параметров

№	Соединение	$\Delta H_{298}$ , кДж/моль	$\Delta S_{298}$ , Дж/моль
1	FeAl	- 53,33	65,98
2	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	- 203,912	206,37
3	FeAl <sub>3</sub>	- 11,51	121,57
4	FeSi	- 76,579	68,73
5	FeSi <sub>2</sub>	- 73,29	55,23
6	Fe <sub>2</sub> Si	- 82,887	104,01
7	Al <sub>8</sub> V <sub>5</sub>	- 293,1	14,45
8	Al <sub>3</sub> V	- 108,9	16,48
9	V <sub>3</sub> Si	- 161	97,41
10	V <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>	- 402	207,99
11	VSi <sub>2</sub>	- 113	84,36

Принятые координаты (на основе массовой доли \*1000) конгруэнтных и инконгруэнтных соединений системы Fe-V-Si-Al, используемых в дальнейшем при изучении их полей кристаллизации, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Конгруэнтные металлические соединения в системе Fe-V-Si-Al и их координаты на четверном концентрационном симплексе (тетраэдре)

Соединения	Fe	V	Si	Al
Fe	1000	0	0	0
V	0	1000	0	0
Si	0	0	1000	0
Al	0	0	0	1000
Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	453	0	0	547
FeSi <sub>2</sub>	500	0	500	0
FeSi	667	0	333	0
VSi <sub>2</sub>	0	477	523	0
V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub>	0	752	248	0
Al <sub>3</sub> V	0	386	0	614
V <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>	0	752	248	0
V <sub>3</sub> Si	0	845	155	0
Al <sub>8</sub> V <sub>5</sub>	0	541	0	459

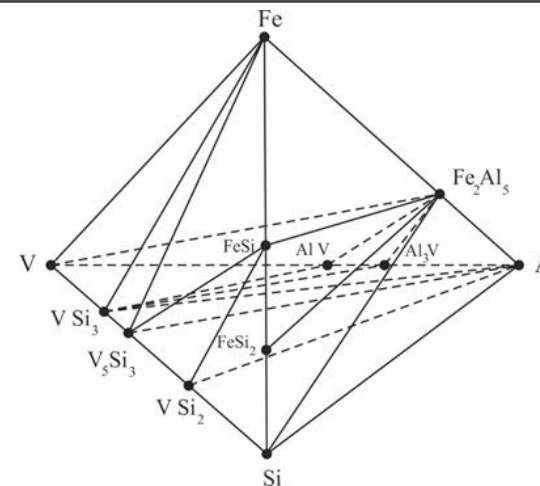


Рисунок 2 – Тетраэдрция металлической системы Fe-V-Si-Al

Таблица 3 – Перечень тетраэдров системы Fe-V-Si-Al

№	Тетраэдры	Элементарные объемы
1	Al-Si-VSi <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,216081
2	FeSi <sub>2</sub> -Si-VSi <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,13046
3	FeSi <sub>2</sub> -FeSi-VSi <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,043573
4	Al-VSi <sub>2</sub> -V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,124575
5	Fe-FeSi-V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,136978
6	Al-V <sub>3</sub> Si-V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,042129
7	Fe-V <sub>3</sub> Si-V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,050871
8	Al-V <sub>3</sub> Si-Al <sub>3</sub> V-Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,027103
9	Al <sub>8</sub> V <sub>5</sub> -V <sub>3</sub> Si-Al <sub>3</sub> V-Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,010883
10	Al <sub>8</sub> V <sub>5</sub> -V <sub>3</sub> Si-V-Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,032229
11	Fe-V <sub>3</sub> Si-V-Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,084785
12	FeSi-VSi <sub>2</sub> -V <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	0,100333
Сумма		1,000000

Таким образом, на основе данных таблицы 2 необходимо принять во внимание 13 простых и сложных соединений. Разбивка общей системы осуществлена с учетом конгруэнтных и инконгруэнтных соединений. Сумма относительных объемов элементарных тетраэдров равна единице

(1,000000), что подтверждает верность проведенной тетраэдрации (таблица 3). Коэффициенты трансформации, рассчитанные по методу Хиза [6], предназначенные для определения фазового состава по первичным компонентам, а также объемы элементарных тетраэдров системы Fe-V-Si-Al приведены в таблице 3. Таким образом, приведенные сведения и результаты проведенных расчетов подтверждают достоверность тетраэдрации диаграммы фазового строения металлической системы Fe-V-Si-Al. Это впоследствии позволит определить фазовый состав металлических продуктов при выплавке феррованадия в процессах восстановления ванадия из ванадиевого сырья.

Таблица 4 – Перечень элементарных тетраэдров, их объемы и коэффициенты уравнений для расчета равновесных соотношений вторичных компонентов системы Fe-V-Si-Al

Исходные компоненты	Коэффициенты	Тетраэдры, их объемы и коэффициенты трансформации					
		1	2	3	4	5	6
		Al-Si-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	FeSi <sub>2</sub> -Si-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	FeSi <sub>2</sub> -VSi <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Al-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Fe-V <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> -V <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Al-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
Объемы		0,216081	0,13046	0,043573	0,124575	0,136978	0,042129
Fe	a <sub>1</sub>	-1,20751	2	-1,99401	-1,20751	1	-1,20751
	a <sub>2</sub>	0	-1	2,99401	0	0	0
	a <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0
	a <sub>4</sub>	2,20751	0	0	2,20751	0	2,20751
	a <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0
V	b <sub>1</sub>	0	0	-4,37918	0	0,66056	0
	b <sub>2</sub>	-1,09644	-1,09644	3,28274	-0,90182	-0,99035	2,66667
	b <sub>3</sub>	2,09644	2,09644	2,09644	1,90182	1,32979	-1,66667
	b <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0
Si	c <sub>1</sub>	0	0	3,99401	0	-2,003	0
	c <sub>2</sub>	1	1	-2,99401	2,73455	3,003	-8,08602
	c <sub>3</sub>	0	0	0	-1,73455	0	9,08602
	c <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0
Al	d <sub>1</sub>	1	-1,65631	1,65135	1	-0,82815	1
	d <sub>2</sub>	0	0,82815	-2,47950	0	0	0
	d <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0
	d <sub>4</sub>	0	1,82815	1,82815	0	1,82815	0

Продолжение таблицы 4

Исходные компоненты	Коэффициенты	Тетраэдры, их объемы и коэффициенты трансформации					
		7	8	9	10	11	12
		Fe-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Al-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al <sub>3</sub> V <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Al <sub>8</sub> V <sub>5</sub> -V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al <sub>3</sub> V <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Al <sub>8</sub> V <sub>5</sub> -V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	Fe-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>	FeSi-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -V <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub>
Объемы		0,050871	0,027103	0,010883	0,032229	0,084785	0,100333
Fe	a <sub>1</sub>	1	-1,20751	3,00708	-2,63073	1	1,49925
	a <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	-1,36522
	a <sub>3</sub>	0	0	-4,21458	1,42323	0	0,86597
	a <sub>4</sub>	0	2,20751	2,20751	2,20751	0	0
V	b <sub>1</sub>	0	-1,59067	3,96129	0	0	0
	b <sub>2</sub>	2,66667	0	0	0	0	-0,90182
	b <sub>3</sub>	-1,66667	2,59067	-2,96129	1	1	1,90182
	b <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0
Si	c <sub>1</sub>	0	8,67174	-21,59542	0	0	0
	c <sub>2</sub>	-8,08602	6,45161	6,45161	6,45161	6,45161	2,73455
	c <sub>3</sub>	9,08602	-14,12335	16,14381	-5,45161	-5,45161	-1,73455
	c <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0
Al	d <sub>1</sub>	-0,82815	1	-2,49032	2,17865	-0,82815	-1,24161
	d <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1,13061
	d <sub>3</sub>	0	0	3,49032	-1,17865	0	-0,71716
	d <sub>4</sub>	1,82815	0	0	0	1,82815	1,82815

Применение результатов ТДА относительно к составам ванадийсодержащих сплавов, сводится к нахождению элементарных тетраэдров, внутри которых располагаются их составы, а нормативное распределение первичных фаз между вторичными соединениями для них равны 100 % рассматриваемого тетраэдра.

Результаты исследования показала, что хронология перемещения относительного состава феррованадия проходит в тетраэдре (рисунок 3), приведенных ниже.

Таблица 5 – Тетраэдры, и их объемы

Содержание FeV в материалах, %	Тетраэдры, и их объемы
Вд1	Fe-V-V <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> (0,084785)

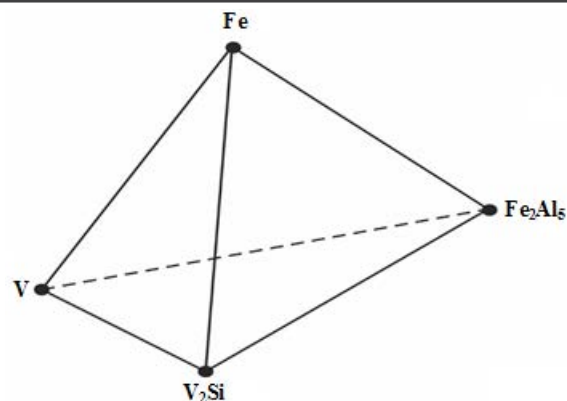


Рисунок 3 – Тетраэдр, моделирующий составы продуктов плавки

### ВЫВОДЫ

Построены граничные тройные системы, базовой четырехкомпонентной системы Fe-V-Si-Al. Уточнено структурное строение четырехкомпонентной системы Fe-V-Si-Al. На основании обширных исследований энергетики взаимодействия сосуществующих фаз установлено, что система Fe-V-Si-Al разбивается на 12 элементарных тетраэдров. Сумма относительных объемов элементарных тетраэдров системы Fe-V-Si-Al практически равна единице (1,000000), что свидетельствует о достаточной верности проведенных расчетов. Установлено квазиобъемы в системе Fe-V-Si-Al, моделирующих составов образующихся феррованадия. В результате выяснилось, что полученный феррованадий, расположен в тетраэдре Fe-V-V<sub>3</sub>Si-Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Торопов, Н. А., Барзаковский, В. П., Лапин, В. В., Курцева, Н. Н.** Диаграмма система силикатных систем. Двойные системы – Л. : Наука, 1969. Вып.1. – 823 с.  
2 <http://ttvsif.at.ua/page47.html> [Электронный ресурс].
- 3 **Банних, О. А., Будберг, П. Б., Алисова, С. П. и др.** Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. – Металлургия, 1986 г.
- 4 **Шухардин, С. В.** Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. – Наука, 1979 г.
- 5 **Лякишев, Н. П.** Диаграммы состояния двойных металлических систем. – Машиностроение, 1996–2000 г.г.

6 **Heath, D. L.** // Mathematical Treatment of Multicomponent Systems // Jour. Amer. Ceram. Soc. – 1957. – Vol. 40, № 2. – P. 50–53.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Б. С. Келаманов<sup>1</sup>, Е. У. Жумагалиев<sup>2</sup>, А. М. Акуов<sup>3</sup>, Е. К. Самуратов<sup>4</sup>, Н. И. Аманкелді<sup>5</sup>*

**Fe-V-si-Al жүйесінің термодинамикалық-диаграммалық талдануы**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Техникалық факультеті,

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті,  
Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*B. S. Kelamanov<sup>1</sup>, Ye. U. Zhumagaliyev<sup>2</sup>, A. M. Akuov<sup>3</sup>, Ye. K. Samuratov<sup>4</sup>, N. I. Amankeldi<sup>5</sup>*

**Thermodynamic-diagram analysis of the Fe-V-Si-Al system**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Technical the Faculty,

K. ZhubanovAktobe Regional State University,  
Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада жүйе компоненттерінің арасында пайда болатын қосылыстардың термодинамикалық параметрлерін есептеу нәтижелері келтірілген. Fe-V-Si-Al жүйесіне толық термодинамикалық-диаграммалық талдау жүргізілді. Толық термодинамикалық-диаграммалық талдау және анықтамалық термодинамикалық деректер негізінде Fe-V-Si-Al төрт компонентті жүйесі және оның фазалық құрылымының математикалық моделі құрылған. Нәтижесінде, бұл жүйе 12 қарапайым тетраэдрлерден тұратыны дәлелденді.*

*This article presents the results of calculating the thermodynamic parameters of compounds formed between the system components. The complete thermodynamic-diagram analysis of the Fe-V-Si-Al system was performed with congruent compound. A four-component Fe-V-Si-Al system is constructed on the basis of a complete thermodynamic-diagram analysis and reference thermodynamic data, and its mathematical model of the phase structure is created. As a result, it is established that this system consists of 12 elementary tetrahedra.*

**Б. С. Келаманов<sup>1</sup>, О. Р. Сариев<sup>2</sup>, А. М. Әбдірашит<sup>3</sup>,  
Б. М. Орынбаев<sup>4</sup>, Н. І. Аманкелді<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>т.ғ.к., доцент, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>т.ғ.м., оқытушы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>т.ғ.м., оқытушы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы;

<sup>5</sup>магистрант, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы  
e-mail: <sup>1</sup>kelamanov-b@mail.ru; <sup>2</sup>rafhatsson@mail.ru; <sup>3</sup>asik\_942017@mail.ru; <sup>4</sup>bauka929292@mail.ru; <sup>5</sup>naz\_amankeldi@mail.ru

**FE-SI-AL ЖӘНЕ FE-V-AL ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ  
ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ  
МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ**

*Мақалада Fe-Si-Al және Fe-V-Al үштік жүйеге арналған «Triangle» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептеулерді жүргізу және зерттеу сұрақтары қарастырылған. Алынған нәтижелер бойынша темір-ванадий қорытпаларында пайда болатын негізгі фазалар және олардың температураға байланысты өзгерістері зерттелді. Сонымен қатар, балқытудың нақты материалдық тепе-теңдігін жасау және қорытпаның құрамын термодинамикалық реттеу мүмкіндігі қарастырылды.*

*Кілтті сөздер: термодинамика, фаза, жүйе, температура, диаграмма, қосылыстар.*

**КІРІСПЕ**

Көп компонентті жүйелерді кешенді теориялық зерттеу практикасында көп компонентті жүйелердегі фазалық айналымдардың ерекшеліктерін негізгі жүйе өлшемі бойынша термодинамикалық төзімді қарапайым ішкі жүйелерге

бөлу арқылы зерттеуді әлдеқайда жеңілдететін термодинамикалық-диаграммалық сараптау әдісі белгілі.

Термодинамикалық-диаграммалық талдау зерттелетін жүйедегі компоненттердің химиялық өзара әрекеттесуінің термодинамикалық бағалауын геометриялық диаграммамен ұштастырады. Сондай-ақ, отқа төзімді материалдар және феррокорытпалар өндірісінің физика-химиялық негіздерін зерттейді [1]. Көп компонентті жүйелерді зерттеу әдісі нақты технология үшін ақырғы фазалық облыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Әрбір анықталған кваздыжүйе қатты ерітінділердің түзілу заңдылықтарына және қасиеттерінің өзгеруіне байланысты бұл ретте термодинамикалық басқа фазалардың пайда болуына жол берілмейді. Қарапайым және нақты әдіс арқылы тотықтық жүйелердің фазалық құрамын есептеу теңдігін профессор Акбердин А. А. ұсынды. Яғни, ол пайда болған фазалардың бастапқы тотықтарын бөлу теңгеріміне негізделеді [2, 3]. Темір, оттегі және көміртегі негізіндегі жүйелердің толық термодинамикалық талдауын орындаған В. П. Малышев пен Р. Ж. Симбинов болып табылады [4]. Бұл үшбұрыштардағы жекелеген бөлімшелердің тепе-теңдік құрамы мен тиісті реакциялардың стехиометриялық стандартты жазбасының арасында туындайтын қайшылықтарды шешуге мүмкіндік береді.

Мұндай есептеулердің көмегімен пайда болған фазалардың ақырғы фазалық облыстардан тұратын элементтердің бөлінуін анықтауға болады. Мұндай мәліметтерді екі жолмен: яғни тәжірибелік әдістер арқылы немесе термодинамикалық модельдеудің көмегімен қарастыруға болады. Оның біріншісі тәжірибелік әдіс өте көп еңбекті қажет етеді және оларды жүргізу мен интерпретациялау үшін үлкен уақыт шығындарын талап етеді (әсіресе көп компонентті жүйелер үшін). Ал термодинамикалық модельдеу әдістері тәжірибенің есептеу нәтижелерін анықтау кезінде тиімді болып табылады.

Сондықтан аталған жұмыс аясында «Тетра» кешенді бағдарламасының көмегімен Fe-V-Si-Al төрткомпонентті жүйені құрайтын, әрбір жеке жүйелерге термодинамикалық талдау жүргізілді. «Тетра» кешенді бағдарламасында «Triangle» интерфейсі қарастырылған, оның көмегімен бір циклде конденсацияланған барлық фазардың кешенін құруға болады.

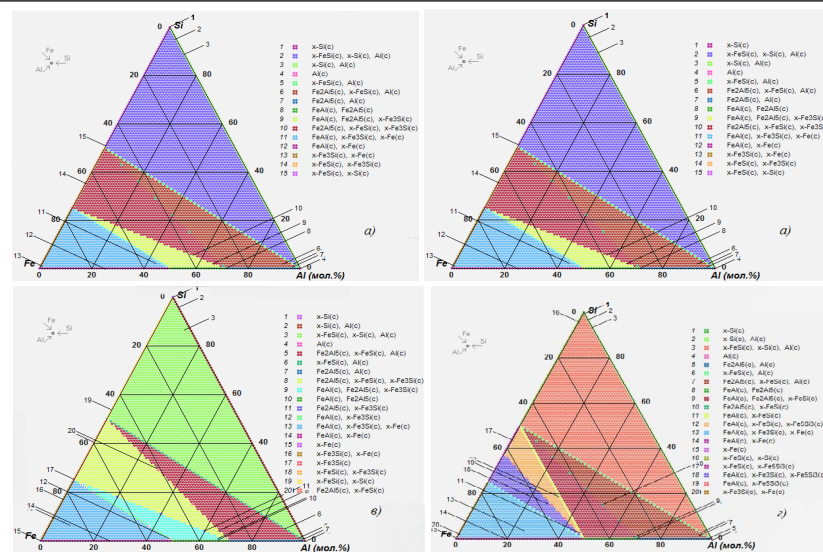
**НЕГІЗГІ БӨЛІМ**

Есептеу барысында кез-келген көп компонентті жүйелердің Fe-V-Si-Al диаграммасының фазалық құрамын анықтау үшін графикалық әдіс қолданылуы мүмкін. Осы тетраэдрде координат торларын қолданған кезде фазалық құрамды анықтауға болады. Мұндай есептеулер кезінде математикалық әдістер де ұсынылды. Олар графикалық тәсілді қолдану

мүмкін болмаған жағдайда, 5 және одан да көп компоненттік жүйелер үшін жалғыз ғана мүмкіндік болып табылады.

«Triangle» кешенді бағдарламасы үш фазалы диаграммаларды құру үрдісін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тепе-теңдік фазалық құрамын есептеу үшін екі режимде жүргізуге болады. Яғни, біріншіден изотермиялық жағдай үшін, жүйенің тепе-теңдігі температурасы (Т, К) және қысым (р, МПа) мәндерімен орнатылған кезде. Ал екіншіден есептеудің әр нүктесінде қысым (р, МПа) және энтальпия (бастапқы материалдардың қалыптасу энтальпиясы) (I, кДж/кг) мәндерімен көрсетілген адиабатикалық тепе-теңдік өзгерісі (жану) жағдайлары үшін. Диаграмманы құру аталған режимде температура арқылы анықталатын шама болып табылады. «Triangle» бағдарламасының көмегімен 1473, 1673, 1873 және 2073К температураға тең болатын Fe-Si-Al және Fe-V-Al үш фазалық жүйелерінің диаграммалары тұрғызылды. Диаграмманы құру аталған режимдегі температуралардың шамасына байланысты болып табылады. Зерттеу нәтижелері 1-ші суретте көрсетілген.

«Triangle» кешенді бағдарламасын қолдана отырып 1473К температурада пайда болатын қосылыстардан тұратын үштік жүйенің фазалық диаграммасы тұрғызылды. Нәтижесінде Fe-Si-Al үштік жүйесін 50 % FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 15 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, 10% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 5 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> қосылыстары құрайтыны белгілі болды, ал қалған пайда болған қосылыстар Fe-Si-Al жүйесінің 10% мөлшерін құрайтыны анықталды (сурет 1(a)). Температураны 1673К-ге жоғарлатқанда пайда болатын негізгі қосылыстар келесі үштік жүйенің фазалық диаграммасында нақты қарастырылды (сурет 1 (б)). Зерттеу нәтижесінде Fe-Si-Al жүйесін 50 % FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 15 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, 10 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 5 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> қосылыстар құрайтыны анықталды, ал қалған қосылыстар Fe-Si-Al жүйесінің 10% мөлшерімен шектеледі. Термодинамикалық жүйені талдау нәтижесінде температураны әрі қарай 1873К-ге жоғарлату келесі зерттеу нәтижелерін анықтады: Fe-Si-Al жүйесін 50 % FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 14 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, 9 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 8 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 5 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> қосылыстар құраса, қалған қосылыстар Fe-Si-Al жүйесінің 15% мөлшерін құрайды (сурет 1(в)). Зерттеуді салыстыру мақсатында жоғары температура кезінде жүргізілген, яғни, 2073К температура кезінде Fe-Si-Al жүйесі келесі түрде болады: 50 % FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 8 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 8 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, FeAl<sub>(c)</sub>, 5 % FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>3(c)</sub>, 5 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, ал қалған қосылыстар Fe-Si-Al жүйесінің 14% мөлшерін құрады (сурет 1(г)).

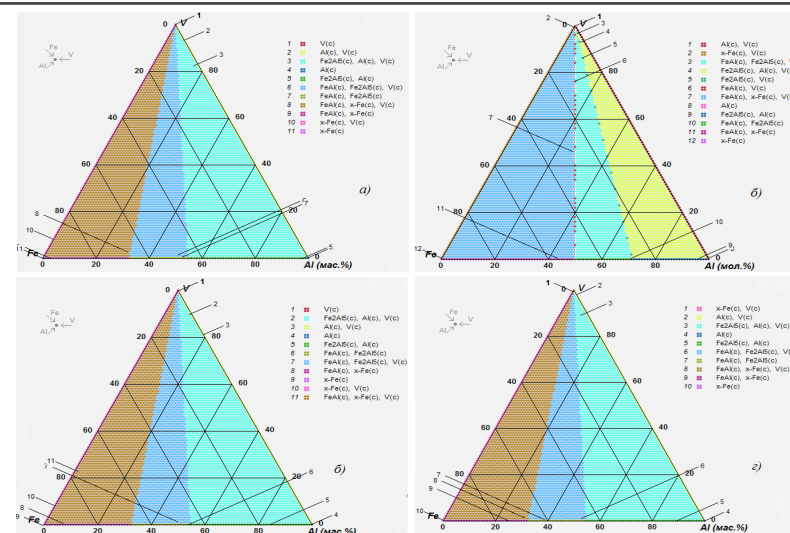


Сурет 1 – Өртүрлі температурадағы Fe-Si-Al үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 1473К (а), 1673К (б), 1873К (в), 2073К (г)

«Triangle» кешенді бағдарламасын қолдана отырып келесі үштік жүйе зерттелді. 1473К температурада зерттелетін үштік жүйенің фазалық диаграммасы келесідей нәтижелер көрсетті: аталған жүйеде 11 қосылыс пайда болды және Fe-V-Al жүйесі 45 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub>, 20 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, V<sub>(c)</sub>, 27 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub> қосылыстары мөлшерінен тұратыны анықталды, ал қалған қосылыстар Fe-V-Al үштік жүйесін 8% мөлшерде құрады (сурет 2(a)). Зерттелетін температура 1673К-ге тең болған жағдайда үштік жүйенің фазалық диаграммасының (сурет 2(б)) нәтижесі 12 қосылысты көрсетті. Fe-V-Al үштік жүйесі 47 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub>, 20 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, V<sub>(c)</sub>, 24 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub> қосылыстарынан тұрады, ал қалған қосылыстар Fe-V-Al жүйесінің 9 % мөлшерін құрады. Температура жоғарлаған сайын (1873К) үштік жүйенің фазалық диаграммасыда өзгерістерге ұшырады. Зерттеу нәтижесінде жалпы 11 қосылыс пайда болды. Fe-V-Al үштік жүйесі 46% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub>, 25 % FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub>, 21 % Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeAl<sub>(c)</sub>, V<sub>(c)</sub> қосылыстарынан тұратыны анықталды, ал қалған қосылыстар Fe-V-Al жүйесінің 9 % мөлшерін құрады (сурет 2(в)).

Кесте 1 – Өртүрлі температура аймағындағы Fe-Si-Al жүйесінің фазалық облыстар саны және мөлшерлері

№	Фазалар	Құрамы, %			
		1473К	1673К	1873К	2073К
1	Si <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
2	FeSi <sub>(c)</sub> , Si <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	50	50	50	50
3	Si <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
4	Al <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
5	FeSi <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
6	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	10	10	9	8
7	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
8	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeAl <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
9	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , FeAl <sub>(c)</sub>	5	5	5	8
10	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	15	15	14	-
11	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	10	10	8	10
12	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
13	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
14	FeSi <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	-
15	FeSi <sub>(c)</sub> , Si <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
16	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	-	< 1	-
17	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	-	< 1	-
18	Fe <sub>(c)</sub>	-	-	< 1	< 1
19	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	-	< 1	-
20	FeAl <sub>(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	-	-	-	5
21	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub>	-	-	-	< 1
22	FeSi <sub>(c)</sub> , FeAl <sub>(c)</sub>	-	-	-	< 1
23	FeSi <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	-	-	-	< 1
24	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	-	-	-	5
25	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	-	-	-	< 1



Сурет 2 – Өртүрлі температурадағы Fe-V-Al үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 1473К (а), 1673К (б), 1873К (в), 2073К (г)

Кесте 2 – Өртүрлі температура кезіндегі Fe-V-Al жүйесінің фазалық облыстар саны және мөлшерлері

№	Фазалар	Құрамы, %			
		1473К	1673К	1873К	2073К
1	V <sub>(c)</sub>	< 1	-	< 1	< 1
2	Al <sub>(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
3	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	45	24	46	47
4	Al <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
5	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
6	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	20	20	21	20
7	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
8	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	27	47	25	24
9	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
10	Fe <sub>(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
11	Fe <sub>(c)</sub>	< 1	< 1	< 1	< 1
12	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	-	< 1	-	-
13	FeAl <sub>(c)</sub> , V <sub>(c)</sub>	-	< 1	-	-

Зерттеуді салыстыру мақсатында жоғары температурада (2073K) термодинамикалық есептеу жүргізген кезде Fe-V-Al үштік жүйесінде жалпы 11 қосылыс бар екендігі анықталды. Fe-V-Al үштік жүйесі 24 %  $Fe_2Al_{5(c)}$ ,  $Fe_{(c)}$ ,  $V_{(c)}$ , 20 %  $FeAl_{(c)}$ ,  $Fe_2Al_{5(c)}$ ,  $V_{(c)}$ , 47 %  $Fe_2Al_{5(c)}$ ,  $Al_{(c)}$ ,  $V_{(c)}$  қосылыстарынан тұратыны белгілі болды, ал қалған қосылыстар Fe-V-Al үштік жүйесінің 9 % мөлшерін құрады (сурет 2(г)).

#### ҚОРЫТЫНДЫ

Алынған нәтижелерді талдау кезінде пайда болған фазалардың құрамы мен саны бойынша 1473–2073K температуралық аралық кезінде бірнеше облысқа бөлінгенін көрсетеді. Fe-Si-Al үштік жүйесі 1473K және 1673K температуралар аймағында пайда болған фазалардың құрамы еш өзгеріске ұшырамады. Негізгі, яғни, басым фаза  $FeSi_{(c)}$ ,  $Si_{(c)}$ ,  $Al_{(c)}$  болып табылады. Ол жалпы үштік жүйенің (Fe-Si-Al) 50 % мөлшерін құрайтын негізгі металқұрамдас фаза болып табылады. Сондай-ақ, 1873–2073K температура кезінде де мөлшері бойынша басым бөлігін құрайтын аталған фаза болып табылады. Ал температураның жоғарлауы кезінде кейбір фазалардың күрт төмендегенін байқауға болады. Айталық,  $Fe_2Al_{5(c)}$ ,  $FeSi_{(c)}$ ,  $Al_{(c)}$  фазасы зерттелетін температура шамасы 1473K және 1673K болған жағдайда 10 %-ға тең болса, жоғарғы температуралар аймағында (1873K және 2073K) мөлшерінің 8 %-ға төмендегені анықталды.

Fe-V-Al үштік жүйесін зерттеу барысында, зерттелетін температуралық облыс 1473K-ге тең болған кезде 11 қосылыс пайда болды және пайыздық мөлшері бойынша жоғары фазалық аймақ  $Fe_2Al_{5(c)}$ ,  $Al_{(c)}$ ,  $V_{(c)}$  45 %-ды құрады, сонымен қатар, 1673K температура кезінде аталған фазалық аймақ мөлшері күрт төмендегенін көруге болады. Яғни, оның шамасы 24 %-ға дейін төмендеді. 1873K және 2073K температура аймағында фазалық құрам қайта бастапқы қалпына келеді ( $Fe_2Al_{5(c)}$ ,  $Al_{(c)}$ ,  $V_{(c)}$ ). Зерттеу нәтижелері темір-ванадий қорытпаларын балқытудың нақты материалдық тепе-теңдігін құру негізін және қорытпаның құрамын реттеу мүмкіндігін береді.

#### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Габдуллин, Т. Г., Такенов, Т. Д., Байсанов, С. О., Букетов, Е. А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алматы : Наука, 1984. – 232 с.

2 Акбердин, А. А. Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем //КИМС. – 1995. – № 3. – С. 92–93.

3 Акбердин, А. А., Саркенов, К. З., Саитов, Р. И. Аналитическое описание фазового равновесия в системе CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-ZnO //Вестник Карагандинского университета. – Караганда. – 2005. – № 1(37). – С. 14–18.

4 Симбинов, Р. Д., Малышев, В. П. Термодинамическое, стехиометрическое и эксергетическое моделирование фазовых равновесий. – Алматы : Гылым, 1999. – 100 с.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

Б. С. Келаманов<sup>1</sup>, О. Р. Сариев<sup>2</sup>, А. М. Әбдірашит<sup>3</sup>, Б. М. Орынбаев<sup>4</sup>, Н. И. Аманкелді<sup>5</sup>

**Моделирование и анализ термодинамических процессов в системах Fe-Si-Al и Fe-V-Al**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Технический факультет,

Актюбинский региональный государственный университет

имени К.Жубанова,

г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

B. S. Kelamanov<sup>1</sup>, O. R. Sariev<sup>2</sup>, A. M. Abdirashit<sup>3</sup>, B. M. Orynbaev<sup>4</sup>, N. I. Amankeldi<sup>5</sup>

**Modeling and analysis of thermodynamic processes in Fe-Si-Al and Fe-V-Al systems**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Technical Faculty,

K. Zhubanov Aktobe Regional State University,

Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*В статье рассмотрены вопросы исследования и проведения термодинамических расчетов с использованием комплексной программы «TRIANGLE» для тройной системы Fe-Si-Al и Fe-V-Al. Были изучены основные фазы, образовавшиеся в железо-ванадиевых сплавах, и их изменения в зависимости от температуры. Кроме того, была рассмотрена возможность создания реального материального баланса плавки и термодинамического регулирования состава сплава.*

*The article deals with the research and implementation of thermodynamic calculations using the complex program «TRIANGLE» for the triple system Fe-Si-Al and Fe-V-Al. The main phases formed in iron-vanadium alloys and their changes depending on temperature were studied. In addition, the possibility of creating a real material equilibrium of melting and thermodynamic regulation of the alloy composition was considered.*



**В. П. Кисмерешкин<sup>1</sup>, Е. С. Риттер<sup>2</sup>,  
Н. В. Зыкова<sup>3</sup>, Д. В. Риттер<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Радиотехнический факультет, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644000, Российская федерация;

<sup>2</sup>докторант PhD, преподаватель, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>магистр, ст. преподаватель, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., доцент, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан  
e-mail: dritter@mail.ru; maslova\_nata2008@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ  
РЕЗОНАНСНЫХ ВИБРАТОРОВ  
ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОЛЯ ВОЛНЫ E<sub>00</sub>**

*В статье представлены результаты исследования поля волны E<sub>00</sub> в режиме переизлучения. Переизлучение волны E<sub>00</sub> осуществляется группой соосных с проводом волновода резонансных вибраторов. Приведены данные экспериментальных исследований распределения поля вдоль однопроводной линии передачи, работающей в различных режимах. Показана возможность повышения эффективности переизлученного поля и его регулировки. В соответствии с этим, в статье приводятся схемы размещения резонансных вибраторов относительно друг друга.*

*Ключевые слова: антенная решетка, однопроводная линия, распределение поля, переизлучатель, резонансный вибратор.*

**ВВЕДЕНИЕ**

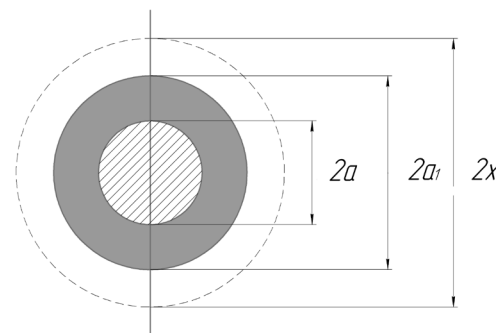
Распределение энергии по элементам антенной решетки играет важную роль в формировании диаграммы направленности антенной решетки. В большинстве случаев для обеспечения требуемого распределения энергии по элементам антенной решетки необходима сложная система делителей

энергии и согласования фаз. Такая система усложняет конструкцию и стоимость изделия.

Антенна, изготовленная по технологии однопроводной линии передачи, имеет ряд преимуществ в распределении энергии в многоэтажных антенных решетках, формировании требуемых амплитудно-фазовых распределений поля вдоль апертуры антенны.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Рассмотрим структуру поля однопроводной линии передачи [1]. Поле однопроводной линии передачи представляет собой поверхностную волну E<sub>00</sub>. Наиболее часто используют конструкцию в виде провода с диэлектрическим покрытием (рисунок 1) составляющие поля имеют вид:



*a* – радиус провода; *a*<sub>1</sub> – радиус диэлектрического покрытия;  
*x*<sub>0</sub> – граничный радиус.

Рисунок 1 – Провод с диэлектрическим покрытием

В диэлектрическом слое при *a* < *r* < *a*<sub>1</sub> составляющие поля E<sub>00</sub> имеет вид:

$$E_z = A \frac{ih_i}{\omega \epsilon_a} \left[ H_0(h_i r) - \frac{H_0^{(1)}(h_i a)}{H_0^{(2)}(h_i a)} H_1^{(2)}(h_i r) \right] e^{-\gamma z}, \tag{1}$$

$$E_r = A \frac{i\gamma}{\omega \epsilon_a} \left[ H_0(h_i r) - \frac{H_0^{(1)}(h_i a)}{H_0^{(2)}(h_i a)} H_1^{(2)}(h_i r) \right] e^{-\gamma z}, \tag{2}$$

$$H_\phi = A \left[ H_0(h_i r) - \frac{H_0^{(1)}(h_i a)}{H_0^{(2)}(h_i a)} H_1^{(2)}(h_i r) \right] e^{-\gamma z}, \tag{3}$$

Во внешнем пространстве при  $r > a_1$  составляющие поля описываются выражениями:

$$E_z = B \frac{h}{\omega \epsilon_0} H_0^{(1)}(hr) e^{-\gamma z}, \quad (4)$$

$$E_r = B \frac{h}{\omega \epsilon_0} H_1^{(1)}(hr) e^{-\gamma z}, \quad (5)$$

$$H_\varphi = BH_1^{(1)}(hr) e^{-\gamma z}, \quad (6)$$

где  $H_n^{(1)}$  – функция Ганкеля 1-го рода n-го порядка;  $\gamma$  – постоянная распространения;  $r$  – текущий радиус.

$$\frac{W_r}{W_H} = 1 - e^{-\frac{2(r-a_1)}{x_0}} = 1 - e^{-\frac{2x}{x_0}} \quad (7)$$

$$x = r - a_1 \quad (8)$$

где  $W_r$  – энергия электромагнитного поля вокруг провода в пространстве радиуса  $r$ ;  $W_H$  – общая энергия вокруг провода.

Величина  $x_0$  характеризует радиус цилиндра, в котором сосредоточена энергия волны  $E_{00}$ . Относительно граничного радиуса установлено что:

1 для проводов с диэлектрическим покрытием радиус концентрации энергии  $x_0$  значительно меньше, чем для проводов без покрытия;

2 при повышении частоты и постоянной толщине покрытия,  $x_0$  уменьшается;

3 при увеличении толщины диэлектрического слоя и неизменном диаметре провода  $x_0$  несколько уменьшайся. Однако при значительном увеличении размеров провода  $x_0$  увеличивается не значительно.

Как известно, для преобразования типа волны однопроводной линии передачи необходимо в поле волны  $E_{00}$  поместить резонансный вибратор [2]. Вибраторы могут иметь различную форму, например, цилиндрическую, спиралевидную и другие. В качестве вибраторов могут выступать металлические неоднородности, закрепленные в поле волны  $E_{00}$  параллельно или перпендикулярно оси однопроводной линии передачи.

Цилиндрический вибратор (рисунок 2) представляет собой трубку, непосредственно надетую на провод однопроводной линии передачи. Такой вибратор будет переизлучать энергию во всех направлениях.



L – длина вибратора; R – радиус размещения вибратора

Рисунок 2 – Цилиндрический вибратор

Распределение энергии по вибраторам описывается выражением:

$$P_0 = P_0 k_1 + (P_0 - P_0 k_1) k_2 + (P_0 - P_0 k - (P_0 - P_0 k_1) k_2) k_3 + \dots + \delta, \quad (9)$$

где  $P_0$  – энергия, подводимая к однопроводной линии передачи;  $k_n$  – коэффициент связи;  $\delta$  – оставшаяся энергия в однопроводной линии передачи.

Из уравнения (9) видно, что максимум энергии излучается первым вибратором, а минимум – последним. При разработке антенн по технологии однопроводной линии передачи ставилась задача достижения равномерного распределения амплитуды поля вдоль апертуры антенны. Для этого необходимо менять коэффициент связи. Коэффициент связи цилиндрического вибратора с проводом однопроводной линии передачи зависит от радиуса провода, на котором он размещен, от длины вибратора. Установлено, что чем меньше радиус и длиннее вибратор, тем больше коэффициент связи  $k$ .

Фазовое распределение будет зависеть только от расстояния  $L$  (рисунок 3), на котором вибраторы размещены относительно друг друга. Чтобы все вибраторы имели одинаковую фазу, расстояния между их центрами должны быть равными длине волны  $L = \lambda$  (рисунок 3).

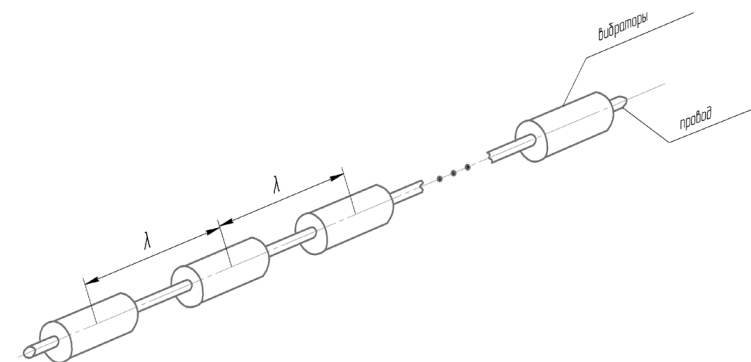
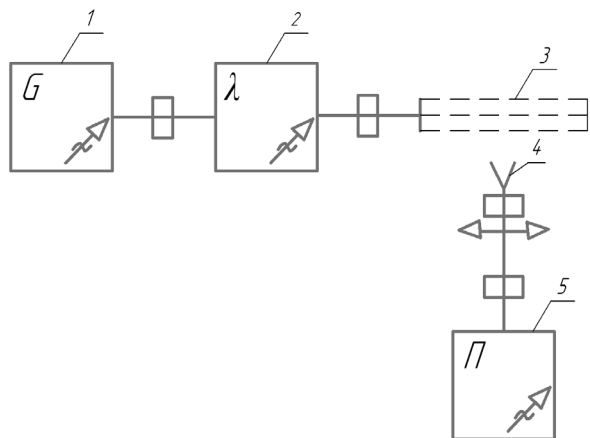


Рисунок 3 – Размещение вибраторов относительно друг друга

Измерение распределения амплитуды поля вибраторов вдоль однопроводной линии передачи производилось по схеме, изображённой на рисунке 4.



1 – генератор, 2 – волномер, 3 – исследуемая антенна,  
4 – рупорная антенна, 5 – приемник.

Рисунок 4 – Блок-схема установки для проведения измерения амплитуды поля

Рупорная антенна, принимающая поле исследуемой антенной решетки, перемещается вдоль исследуемой антенны на расстоянии  $0,5\lambda$ . По результатам измерений амплитуды поля вдоль излучателей антенной решетки построен график (рисунок 5).

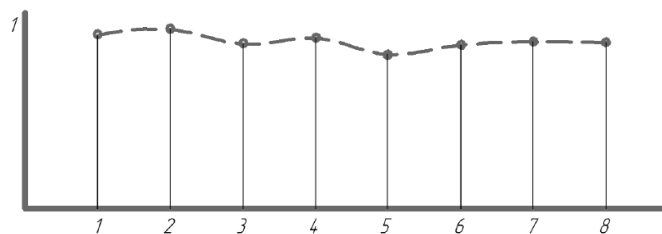


Рисунок 5 – Распределение энергии по излучателям антенны

Таким образом, получено распределение поля волны  $E_{00}$  по резонансным вибраторам близкое к равномерному. Неравномерности распределения обусловлены несовершенством изготовления антенны.

### ВЫВОДЫ

В результате выполнения экспериментов с группой переизлучающих вибраторов соосных с проводом волновода были достигнуты следующие результаты:

- неравномерность распределения поля без переизлучающих вибраторов составила в режиме  $\pm 22$  дБ;
- неравномерность распределения поля с одним переизлучающим вибратором составила  $\pm 9$  дБ;
- неравномерность распределения поля с двумя переизлучающими вибраторами составила 7 дБ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кисмерешкин, В. П., Лобова, Г. Н. Вибраторная решетка // Патент № 2190907.

2. Кисмерешкин, В. П., Лобова, Г. Н. Моделирование линейной антенной решетки на основе однопроводной линии передачи // Приборы и техника эксперимента – 1996.

4 Кисмерешкин, В. П., Лобова, Г. Н. Всенаправленная антенная решетка на основе открытого волновода // Проектирование и технология электронных средств – 2004. – № 4. – С. 12–15.

5 Кисмерешкин, В. П., Лобова, Г. Н., Риттер, Д. В., Дударев, А. В. О системе распределения энергии при облучении поверхностей // Электроника и радиотехника. – 2013. – № 6 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.rusnauka.com/9\\_NND\\_2012/Tecnic/6\\_105400.doc.htm](http://www.rusnauka.com/9_NND_2012/Tecnic/6_105400.doc.htm)

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

В. П. Кисмерешкин<sup>1</sup>, Е. С. Риттер<sup>2</sup>, Н. В. Зыкова<sup>3</sup>, Д. В. Риттер<sup>4</sup>

**$E_{00}$  толқын өрісін біркелкі бөлу үшін резонансты дірілдеткіш жүресінің тиімділігін зерттеу**

<sup>1</sup>Радиотехника факультеті,  
Омбы мемлекеттік техникалық университеті,  
Омбы қ., 644000, Ресей Федерациясы;  
<sup>2,3,4</sup>Инженерлік және сандық технологиялар факультеті,

М. Қозыбаев атындағы  
Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,  
Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

**Investigation of resonance vibrators system efficiency for uniform distribution of  $E_{00}$  wave field**<sup>1</sup>Faculty of Radio Engineering,  
Omsk State Technical University,  
Omsk, 644000, Russian Federation;<sup>2,3,4</sup>Faculty of Engineering and Digital Technology,  
M. Kozybayev North Kazakhstan State University  
Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада қайта сәуле шығару тәртібінде  $E_{00}$  толқын өрісін зерттелгенінің нәтижесі көрсетілген.  $E_{00}$  толқын өрісінің қайта сәуле шығаруы резонансты дірілдеткіштердің сым толқын арнасымен ортақ білікті топ арқылы жүзеге асырылады. Эксперименттік зерттеулерде әртүрлі тәртіпте жұмыс істейтін бір талды сымды сызықпен өріс бойына бөлу деректері келтірілген. Қайта сәуле шығару өрісінің және оның реттелуінің жоғары тиімділігі мүмкіндігі көрсетілген. Осыған орай мақалада резонансты дірілдеткіштердің бір-біріне байланысты орналастырылуының кестесі көрсетіліп отыр.*

*The article presents the results of the study of the  $E_{00}$  wave field in the re-radiation mode. Re-radiation of the  $E_{00}$  wave is performed by group of resonant vibrators coaxial with waveguide wire. Data of experimental studies of field distribution along single-wire transmission line operating in different modes are given. Possibility of increasing efficiency of re-radiated field and its adjustment is shown. In accordance with it, the article describes the arrangement of resonant vibrators relative to each other.*

**М. Я. Клецель<sup>1</sup>, Б. Е. Машрапов<sup>2</sup>, О. М. Талипов<sup>3</sup>**<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;<sup>2</sup>PhD, асоц. профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;<sup>3</sup>PhD, асоц. профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстанe-mail: <sup>2</sup>bokamashrapov@mail.ru; <sup>3</sup>talipov1980@mail.ru**МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В КОМПЛЕКТНЫХ ТРЁХФАЗНЫХ ТОКОПРОВОДАХ**

*Экспериментально доказано, что величины индукций магнитных полей, созданных токами в шинах комплектных токопроводов, достаточны для срабатывания геркона, закрепляемого внутри них при построении защит электроустановок от коротких замыканий. Измерены индукции магнитных полей в различных точках вдоль шин токопровода и в шести точках на середине длины токопровода вблизи перегородок. Показано, что герконы необходимо располагать на расстоянии не меньше 50 см от краев оболочки токопровода, и оболочка токопровода уменьшает индукцию магнитного поля, созданного током в его шине, в 1,4 раза в сравнении с индукцией при ее отсутствии, а перегородки искажают магнитное поле внутри токопровода, из-за чего геркон необходимо устанавливать как можно дальше от них. Предложена установка для исследования электромагнитного поля внутри трубчатого проводника.*

*Ключевые слова: комплектный токопровод, шина, ток, индукция магнитного поля.*

**ВВЕДЕНИЕ**

На конференциях СИГРЭ неоднократно отмечалось, что нужно разрабатывать защиты, не использующие для получения информации трансформаторы тока [1–3]. Одним из путей решения этой задачи является применение магниточувствительных элементов в качестве датчиков тока. Нами выбраны герконы, так как они обладают некоторыми преимуществами

перед другими магниточувствительными элементами [1]. На их основе уже разработаны принципы построения максимальной токовой защиты [4], дифференциально-фазных защит электродвигателя [5], трансформатора [6] и шин [7], принципы выявления симметричных составляющих токов [8] и т.д. Указанные защиты, в основном, применяются в сетях 6–35 кВ, где электроустановки подключаются к шинам через ячейки комплектных распределительных устройств (КРУ) или комплектные трехфазные токопроводы (шины собственных нужд к трансформатору собственных нужд). При этом магнитные поля внутри ячеек КРУ и комплектных токопроводов, куда придется устанавливать герконы, не исследовались. В данной работе сделана попытка провести эти исследования путем натурального эксперимента в комплектном токопроводе типа ТЗКР-10-1600.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Трёхфазный комплектный токопровод, типа ТЗКР-10-1600-81, напряжением до 10 кВ на ток 1600 А состоит из трех токоведущих шин 1 (рис. 1) швеллерного типа (П-образного сечения) и оболочки 2 [9]. Токотвещающие шины 1 крепятся к опорным изоляторам 3 внутри оболочки 2 по вершинам равностороннего треугольника. Комплектный токопровод имеет три междуфазные разделительные перегородки 4, выполненных из алюминиевых листов толщиной по 4 мм и сваренных друг с другом под углом 120°. Разделительные перегородки 4 предназначены для исключения перехода однофазного замыкания на землю в междуфазное короткое замыкание.

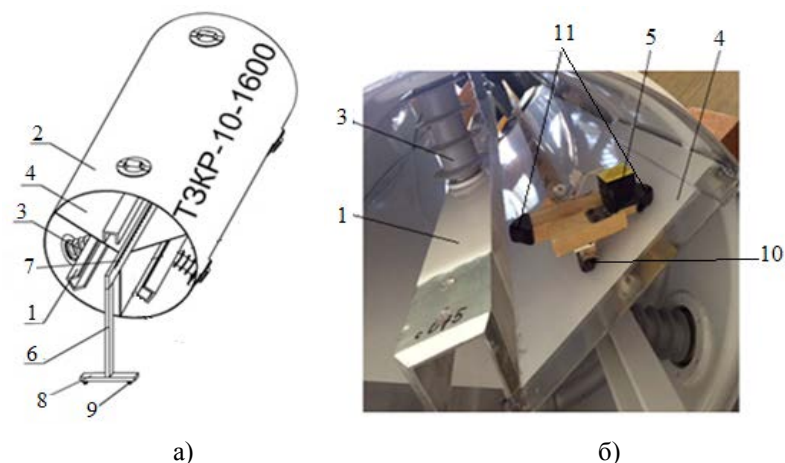


Рисунок 1 – Трёхфазный токопровод с помещенной внутри него конструкцией для установки КИ в заданную точку

Для проведения экспериментов в шины 1 токопровода подавался ток от 100 А до 600 А с шагом 100 А. Для измерения величины индукции магнитного поля применялась катушка индуктивности 5 (рис. 1б), с количеством витков  $w=10000$ , к выводам которой подключался вольтметр (на рис. 4 не показан). Для её размещения и перемещения внутри токопровода использовалась запатентованная конструкция [10]. Она представляет собой две рейки 6 и 7, выполненные из диэлектрического материала и скрепленные под углом 90°. На конце рейки 6 жестко закреплена горизонтальная планка 8 с колесами 9 (рис. 1а). На рейку нанесена шкала с шагом 1 см. На конце рейки 7 закреплены колеса 10 и конструкция для установки катушки индуктивности 5 (КИ), по торцам которой расположены колеса 11. В результате КИ 5 располагается на 12,5 см от шины, что соответствует минимально допустимому расстоянию по технике безопасности.

В первом эксперименте определялись точки вдоль шин токопровода, в которых влияние внешних помех минимально. Для этого в шины подавался ток от 100 до 600 А и через каждые 10 см длины токопровода измерялась индукция магнитного поля, созданного указанным током. В результате установлено, что значения магнитного поля от концов трёхфазного комплектного токопровода сильно отличаются на расстоянии равным 30 см в обоих положениях установки КИ 5, а в точках 30 см от середины токопровода – показания значений магнитного поля выравниваются и разница при этом составляет от 3 до 5 %.

Затем было исследовано влияние перегородок и оболочки токопровода на распределение магнитного поля внутри токопровода. Для этого измеряли индукции магнитных полей, созданных токами в шинах токопровода, закрепив КИ 5 в точках 1–6 вплотную к перегородкам (рис. 2) на середине длины токопровода. Ток подавали в две и три шины, имитируя двух- и трехфазные КЗ. Измерения проводили в следующих режимах: при наличии оболочки и перегородок; при наличии только перегородок, а затем и только оболочки; при отсутствии оболочки и перегородок. Измеренные значения приведены в таблице 1. Из таблицы 1 видно, что оболочка лишь уменьшает индукции магнитных полей в 1, 4 раза, а перегородка искажает их. Поэтому при построении защиты необходимо устанавливать геркон как можно дальше от перегородки, не нарушая при этом технику безопасности.

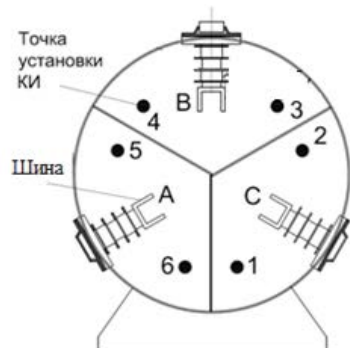


Рисунок 2 – Точки 1–6 установки КИ для измерения э.д.с. возле перегородок токопровода

Таблица 1 – Значения магнитной индукции для шести точек на разделительной перегородке, при различных режимах короткого замыкания и различных величинах силы тока в токоведущих шинах токопровода

Комплектность токопровода	Вид к.з.	Значение тока в шине, А	Значение магнитной индукции наводимой на катушке индуктивности, В, 10-4Тл					
			Слева от ф.А	Справа от ф.А	Слева от ф.В	Справа от ф.В	Слева от ф.С	Справа от ф.С
с перегородкой и оболочкой	3-х фазное	2780	4,29	2,5	4,85	3,13	4,56	2,84
	2-х фаз. АВ	2138	2,33	2,44	2,76	2,39	0,47	0,51
без перегородки, но с оболочкой	3-х фазное	2715	2,89	2,72	2,74	2,78	2,84	2,76
	2-х фаз. АВ	2162	1,56	2,63	2,76	1,4	1,12	1,24
с перегородкой, но без оболочки	3-х фазное	2723	4,92	3,64	5,28	3,08	4,58	3,54
	2-х фаз. АВ	2184	3,45	3,89	3,87	2,98	0,57	0,62
без оболочки и без перегородки	3-х фазное	2680	3,96	4,1	4,12	4,04	4,05	3,94
	2-х фаз. АВ	2100	1,99	3,8	3,83	1,87	1,65	1,71

### ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования проведенные на токопроводе показали возможность создания токовых защит на герконах для электроустановок, подключенных к нему.

При установке геркона внутри трехфазного комплектного токопровода, необходимо закреплять его как можно дальше от перегородок и на

расстоянии, как минимум, 50 см от конца секции токопровода. При выборе уставок срабатывания нужно учитывать, что оболочка токопровода уменьшает действующую на геркон индукцию в 1,4 раза.

Разработанная и апробированная в данной работе лабораторная установка, с помощью которой проводились эксперименты, может быть использована в дальнейших исследованиях.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Клецель, М. Я.** Основы построения релейной защиты на герконах // Сборник докладов конференции, CIGRE. – 2013.

2 **Дьяков, А. Ф.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по материалам 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4–5.

3 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** (Cooper Power Systems, США). Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского. // Сборник докладов конференции CIGRE. – 2009. – С. 49–59.

4 **Клецель, М. Я.** О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока./ М. Я. Клецель, В. В. Мусин // Электротехника. – 1987. – № 4. – С. 11–13.

5 **Клецель, М. Я.** Дифференциально-фазная защита мощных электродвигателей на герконах. / М. Я. Клецель, А. Г. Калтаев, Б. Е. Машрапов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – № 1–2. – 2014. – С. 306–309.

6 **Клецель, М. Я.** Особенности построения дифференциально-фазных защит трансформаторов / М. Я. Клецель, П. Н. Майшев // Электротехника. – 2007. – № 12. – С. 2–7.

7 **Kletsel, M.,** Protection of busbar based on reed switches / M. Kletsel, N. Kabdualiyev, B. Mashrapov, A. Neftissov // Przeglad Elektrotechniczny. – 2014. – № 1. – P. 88–89.

8 **Kletsel, M.** New filters for symmetrical current components / M. Kletsel, A. Zhantlesova, P. Mayshev, B. Mashrapov, D. Issabekov // Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – № 101. – P. 85–91.

9 **Дорощев, К. И.** Токопроводы и шинопроводы для электростанций и подстанций. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.

10 Патент 181523 Российской Федерации, МПК G09B 23/18. Установка для исследования электромагнитного поля внутри трубчатого проводника / Клецель М. Я., Талипов О. М., Кислов А. П., Сулайманов А. О.; заявл. 18.04.2017; опубл. 17.07.2018, Бюл. № 20.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*М. Я. Клецель<sup>1</sup>, Б. Е. Маширапов<sup>2</sup>, О. М. Талипов<sup>3</sup>***Жинақы үш фазалы ток өткізгіштердегі магниттік өрістер**<sup>1,2,3</sup>Энергетикалық факультет,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*M. Ya. Kletsel<sup>1</sup>, B. E. Mashrapov<sup>2</sup>, O. M. Talipov<sup>3</sup>***Magnetic fields in complete three-phase currents**<sup>1,2,3</sup>Faculty of Energy Engineering,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Жинақы ток өткізгіштерінің шиналарында токтармен пайда болатын магниттік өрістер индукцияларының өлшемдері, қысқа тұйықталудан электр қондырғыларын қорғауларды құру барысында олардың ішінде бекітілген, герконның іске қосылуына жеткілікті екені тәжірибелік түрде дәлелденген. Ток өткізгіштің шиналар бойындағы әртүрлі нүктелерінде және аралық бөлімдеріне жақын орналасқан шиналар ұзындығының ортасында алты нүктеде магниттік өрістердің индукциялары өлшенді. Геркондар ток өткізгіштің қабығының шеттерінен кемінде 50 см қашықтықта орналасуы керек екені көрсетілген, және ток өткізгіштің қабығы оның шинасындағы токпен пайда болатын магниттік өрістің индукциясын оның жоқ кезіндегі индукциямен салыстырғанда 1,4 есеге азайтады, ал аралық бөлімдер ток өткізгіш ішінде магниттік өрісті бұрмалайды, сондықтан герконды олардан мүмкіндігінше алыс орналастыру керек. Тұрба тәрізді өткізгіш ішіндегі электромагниттік өрісті зерттеу үшін қондырғы ұсынылған.*

*It has been experimentally proved that the magnitudes of the magnetic field inductions created by the currents in the busbars of the complete conductors are sufficient for the operation of the reed switch, which is fixed inside them when constructing electrical installations against short circuits. Inductions of magnetic fields were measured at various points along the busbars and at six points in the middle of the length of the busbar near the partitions. It is shown that the reed switches must be located at*

*a distance of not less than 50 cm from the edges of the conductor sheath, and the sheath of the conductor reduces the induction of the magnetic field created by the current in its busbar by 1.4 times compared with the induction in its absence, and the partitions distort the magnetic field inside conductor, because of which the reed switch must be installed as far as possible from them. A setup is proposed for studying the electromagnetic field inside a tubular conductor.*

**К. Т. Кошекoв<sup>1</sup>, Р. К. Анаятова<sup>2</sup>, А. П. Кислов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>докторант, «Авиационная техника и технология», АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>2</sup>г-anayatova@mail.ru

**ПУТИ СНИЖЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ**

*В статье исследуются пути снижения отрицательного влияния человеческого фактора на безопасность полетов. Для того, чтобы уменьшить возможность ошибок, следует обратить внимание на повышение профессиональной квалификации, повышение знаний и совершенствование практических навыков авиационных специалистов. Ввиду того, что развитие авиации в настоящее время достаточно динамично, сохраняется необходимость обеспечения высокого авиационного уровня безопасности, этот вопрос требует продолжения исследований в этой области для постоянного контроля и поддержки необходимого уровня безопасности полетов Республики Казахстан.*

*Ключевые слова: пути снижения, отрицательное влияние, человеческий фактор, безопасность полетов.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Из-за интенсивности воздушного движения в последние годы резко увеличилось количество авиационных инцидентов и несчастных случаев. К сожалению, техническое совершенствование современных самолетов и управление воздушным движением не ведут к существенному сокращению человеческих ошибок. Человеческий фактор является основной причиной 80 % несчастных случаев в авиации. Вот почему все большее внимание уделяется роли человека в обеспечении безопасности авиационной системы. Данный факт требует точной оценки качества кандидатов для авиационной профессии. Поэтому, нужно отслеживать их возможности и функциональное

состояние, их профессиональное развитие. Именно профессиональное развитие членов экипажа будет способствовать снижению отрицательного влияния человеческого фактора на безопасность полетов.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Безопасность полетов – это явление, которое привлекает внимание специалистов авиации из-за неоспоримого общественного значения конечной цели – отсутствия несчастных случаев и происшествий. Измерение безопасности полетов вызывает дискуссии, поскольку авиация не может позволить себе применение принципа «пробная ошибка» и поэтому необходимо искать другие подходы.

Основными причинами авиакатастроф являются: отказ техники; человеческий фактор (ошибки в управлении авиатранспортными средствами, а также ошибки диспетчеров и прочего персонала); боевые действия и терроризм; неблагоприятные погодные условия (рис. 1).



Рисунок 1 – Основные причины авиакатастроф<sup>4</sup>

Следует понимать, что ошибка персонала означает не только неправильный шаг пилотов во время полета, но и непрофессиональную работу специалистов по техническому обслуживанию и эксплуатации,

<sup>4</sup> Статистика авиационных происшествий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/6810188/page/4/>



техников, диспетчеров и операторов. В конечном счете, невозможно предсказать человеческие действия, с учетом того, что полет представляет собой сложную последовательность технических процессов, которая требует строгого контроля.

Большинство авиакатастроф происходит из-за человеческого фактора, официальная статистика говорит об этом. Однако технологии быстро развиваются. Каждый год инженеры разрабатывают новые автоматические системы, самолеты нового поколения, что сводит к минимуму человеческую роль в полете.

Проблемы человеческого фактора, в частности человеческие ошибки, способствуют большему числу авиационных инцидентов и аварий, чем любой другой отдельный фактор. К человеческим ошибкам относятся ошибки пилотов, обслуживающего персонала, диспетчеров воздушного движения и других лиц, непосредственно влияющих на безопасность полетов. То, что лежит за человеческой ошибкой, очень часто является неточным ситуационным решением: неспособность (по какой-либо причине) правильно оценить ситуацию эксплуатации или технического обслуживания. Таким образом, всякий раз, когда появляется термин «человеческая ошибка», надо иметь в виду, что ситуационная осведомленность или ее отсутствие, как правило, является доминирующим фактором. Это может быть критической проблемой. Отсутствие ситуационной осведомленности является ключевым фактором в CFIT (в контролируемом полете на местности) несчастных случаях, которые ответственны за большее число жертв, чем любой другой тип авиационных происшествий.

Человеческая ошибка определяется как провал запланированного действия для достижения желаемого результата (National offshore, 2017). Ошибки также могут иметь место на этапах планирования и выполнения задачи. Если план подходит, и стоит задача следовать плану, то желаемый результат плана будет иметь место. Следовательно, если план неадекватен, а преднамеренное действие продвигается по плану, предполагаемый результат не будет иметь места.

Ошибки свойственны человеку, и люди склонны к ошибкам (Latino, 2007), а человеческие ошибки вызывают или способствуют большинству несчастных случаев (Cussick & Rodrigues, 2012).

Многие несчастные случаи и инциденты, которые были зарегистрированы в течение истории авиации, были связаны с человеческими факторами, влияющими на пилотов, такими, как усталость летных экипажей, что включает в себя значительный фактор риска, который участвует по крайней мере в 4–8 % авиационных неудач (Caldwell, 2005). Усталость также является важной проблемой для наземного персонала, который также сталкивается

с тем, что слишком часто устает. Как человеческий фактор, усталость – это состояние человека, связанное с длительной работой или длительным бодрствованием (потерей сна) (Caldwell, 2005). Усталость также влияет на работоспособность человека. Как физиологический фактор усталость – это состояние человека, которое вызвано образом жизни (Cusick & Rodrigues, 2012).

В сочетании с недостаточной ситуационной осведомленностью фанатизм часто вызывает человеческую ошибку, и как результат – неспособность пилота правильно оценить эксплуатационную или техническую информацию своего самолета. Такие случаи могут возникать из-за того, что пилот не может правильно интерпретировать данные метеорологических радаров при полете через сильные и опасные штормы, или из-за того, что пилот предпочитает верить чувствам, а не полетным приборам (National Transportation Safety Board, 2018). Документально подтверждены факты, свидетельствующие о том, что усталость, вызванная проблемами в авиации, достигла масштабов эпидемии (Caldwell, 2005). Борьба с усталостью требует планирования, которое потребует подготовки, обучения экипажей, операторов и руководства для разработки возможностей отдыха на борту самолета, включая сон в кабине, контролируемые перерывы на отдых и другие методы повышения уровня бдительности в процессе полета (Caldwell, 2005).

Человеческий фактор, в частности человеческие ошибки, способствуют большему числу авиационных происшествий и инцидентов, чем любой другой отдельный фактор (Caldwell, 1998). То, что часто вызывает человеческую ошибку, – это неточное ситуационное осознание, т.е. неспособность правильно оценить ситуацию эксплуатации или технического обслуживания. В результате возникает человеческая ошибка (Caldwell, 1998). Например, если у летного экипажа есть данные о погоде, необходимые для оценки погодных условий, или, если погода не определена должным образом, то данная ситуация может привести к аварии, и основным фактором будет неверная интерпретация данных. В тоже время, если летный экипаж располагает данными, необходимыми для оценки ситуации, то ему может не хватить подготовки, навыков или процедур для принятия правильного решения об их выполнении в течение имеющегося времени (Caldwell, 1998).

Также актуальным остается вопрос – «Какой самый безопасный транспорт?». Этот вопрос задавался социологами ВЦИОМа в процессе социального мониторинга. Социологический мониторинг проводится в течение 3 лет. Все это время мнение россиян практически не менялось. Считается безопасным<sup>5</sup>: метро – 69 %; автобус и трамвай – 68 %; поезда –

<sup>5</sup>Най-безопасното превозно средство. Самолетът е ужасно безопасна форма на транспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://letsgotour.ru/bg/bronirovanie/samyi-bezopasnyi-transport-peredvizheniya-samoleto-zhutko-bezopasnyi-vid.html](https://letsготour.ru/bg/bronirovanie/samyi-bezopasnyi-transport-peredvizheniya-samoleto-zhutko-bezopasnyi-vid.html)

51 %; автомобили – 48 %; троллейбус – 40 %; паромы – 38 %. Интересно узнать, как изменилось отношение людей к воздушному путешествию. В 2011 г. только 22 % опрошенных указали на самолет как самый безопасный вид транспорта. В 2012 г. их число увеличилось до 33 %, а в 2013 г. – упало до 16 %.

Официальные данные отличаются от позиции обычных россиян. Существует несколько методов. Наиболее точным и распространенным является регистрация числа смертей на 100 млн. км или 160 млн. миль. Каждая транспортная группа имеет самые безопасные типы автомобилей, мотоциклов и т. д., но средний вариант принимается «в целом». Американское статистическое бюро с 2000 г. таким образом рассчитывает общую смертность: самолеты – 0,5; автобусы – 0,4; поезда – 0,6; микроавтобусы – 1,2; водный транспорт – 2,6; автомобили – 3,1; велосипеды – 44,6; пешком – 54,2; мотоцикл – 108,9.

Исходя из коэффициента полета – 0,5, человек должен пролететь 200 млн. км, чтобы произошел инцидент (по статистике). Согласно статистике, самым безопасным видом транспорта является самолет. Далее следует железнодорожный и водный транспорт. Чтобы не быть необоснованными, предлагаем взять за основу последние отчеты. С 1996 г. веб-сайт <https://aviation-safety.net/> участвует в отслеживании аварий. С 1 июня по 1 ноября 2017 г. 117 самолетов потерпели крушение или совершили аварийную посадку, в результате чего погибло 279 чел. В первые пять месяцев 2019 г. только в России в результате аварии погибло 5770 чел., а 71461 чел. получили ранения. Даже самые безопасные автомобили не могут уменьшить это число. Расследование этих авиационных происшествий показывает исправную работу двигателя и всех системах самолетов. Анализ авиационных происшествий и серьезных инцидентов показывает, что посадочный заход и сама посадка остаются критической стадией полета и являются причиной более 50 % тяжелых авиационных происшествий. Серьезный процент занимают и «управляемый полет на поле – CFIT», а также «потеря управления в полете – Loss of Control) LOC». Статистика «Statistical of Commercial Jet Airplane Accidents, Boeing» показывает процентное распределение авиационных аварий и жертв по фазам полета (рис. 2).

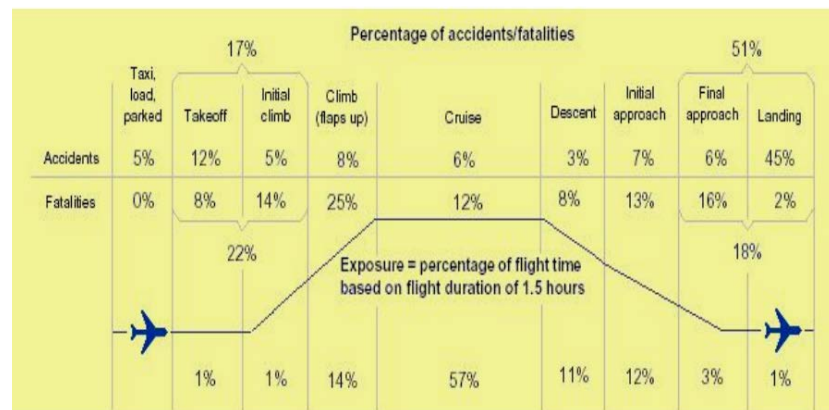


Рисунок 2 – Процентное распределение авиационных аварий и жертв по фазам полета

Согласно [regnum.ru](http://regnum.ru) за 5 месяцев поезда имели наименьшее количество жертв: погибло 41 чел., 172 чел. получили ранения. Самолеты летают каждые 3 сек., следовательно, цифры довольно сопоставимы и дают общее представление о количестве жертв за тот же период времени. Около 1000 чел. умирают в авиакатастрофах ежегодно, а до двух тысяч умирают на железной дороге.

Автомобиль нельзя назвать самым безопасным видом транспорта. Кроме того, мнение о том, что невозможно выжить в авиакатастрофе, также неверно. Если посмотреть на таблицу ресурса для регистрации инцидентов, то можно заметить, что жертв в большинстве случаев нет. Более, чем в 500 стихийных бедствиях в США за 20 лет имеет место 5 % смертей. Если брать только крупные остатки стихийные бедствия, то смертность составит около 50 %.

Доктор медицинских наук, профессор В. В. Козлов дает такое определение, человеческий фактор – это учение о безопасном и эффективном функционировании авиационной системы, в основе которого лежит гармонизация взаимодействия ее разнообразных компонентов («экипажа», «ВС» и «среды») путем создания для каждого из них психофизиологических возможностей и ограничений, присущих специалистам. Содержание и структура «ЧФ» в авиации представляется следующим образом (рис. 3):



Рисунок 3 – Содержание и структура «ЧФ» в авиации

Пилот в силу своих природных особенностей, как и любой человек имеет право на ошибку, но авиационная система обязана сделать все, чтобы он этим правом никогда не воспользовался или в крайнем случае минимизировать последствия допущенной ошибки. Реализовать данный подход возможно только на основе учения «ЧФ».

Возникает вопрос – почему подготовленный пилот оказывается способным допустить ошибки, на которые права не имеет, т.е. ошибки, вызывающие развитие аварийной ситуации? Понятие «подготовленный пилот» отвергает любые версии, но факт остаётся фактом. Для поиска ответа на вопрос необходимо обратиться к статистике аварийности. Правильно подобранная статистика позволяет выявить скрытые от глаз, но требующие учета закономерности. Для рассмотрения одной из них обратимся к лётному опыту участников авиационных происшествий<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Аварийность зависит от учета летного опыта при формировании вертикалей подчинённости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.aviaportal.ru/2018/02/avarijnost-zavisit-ot-ucheta-letnogo-opyta-pri-formirovanii-vertikalej-podchinjonosti-2/>

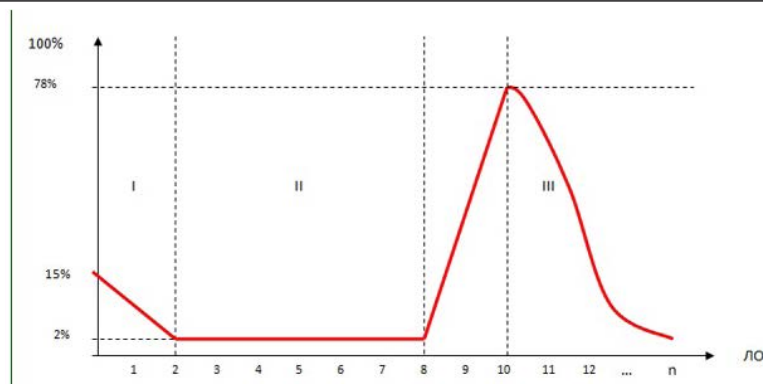


Рисунок 4 – Зависимость количества авиационных происшествий (в %) от лётного опыта (в годах освоения типа воздушного судна)

Из приведённой на рис. 4 зависимости чётко видно, что пик уровня аварийности приходится на 10 год освоения самолета определенного типа. Основная доля аварийности (78 %) приходится на пилотов с лётным опытом в его освоении более 8 лет, которых назовем сверхопытными. Такое парадоксальное, на первый взгляд, явление имеет убедительное обоснование. Все происходящие в мире события обусловлены, как правило, тремя видами причин: непосредственная, главная, основная. Безусловно, есть ещё ряд сопутствующих причин, но они, в основном, только ускоряют развитие конкретных ситуаций. В контексте излагаемого материала к непосредственным причинам принято относить ошибочные действия пилота в принятии решения о тех или иных действиях при эксплуатации технических агрегатов, приборов и систем ВС, а также непосредственно в пилотировании ВС.

Психофизические детерминанты являются неотъемлемой частью человеческого существования. Эти детерминанты приводят к тому, что поведение человека, его чувства, эмоции, впечатления влияют на то, как складывается ситуация. Благодаря эмоциям люди способны адаптироваться к новой ситуации и новым условиям, в которых работают люди. Можно утверждать, что эмоции являются детерминантом человека. Несмотря на установленные оперативные процедуры, национальное или международное право, многие реакции зависят от эмоций, которые человек в конечном итоге переживает как сознательно, так и бессознательно. Человек, у которого нет чувств, не может принимать решения независимо от уровня его подготовки, опыта или мастерства. Поэтому условием для совершения действия являются эмоции. Согласно исследованиям, проведенным

Р. Йеркесой и Дж. Додсоном в 1908 г. существует взаимосвязь между степенью эмоционального возбуждения и качеством выполнения задания. Два закона были сформулированы: Закон Йеркса-Додсона – с увеличением активации повышается уровень производительности к оптимуму и уменьшается с максимумом; Закон Йеркса-Додсона – чем тяжелее работа, тем ниже степень возбуждения, достаточного для достижения максимальной эффективности. Это означает, что чем проще задача, тем больше стимуляции она требует в отличие от более сложных задач, требующих меньшей эмоциональной стимуляции. Оптимальный уровень стимула – это средний уровень сложности задания. Это невозможно для всех задач любых уровней сложности, поэтому следует обратить внимание и на другие факторы, влияющие на принятие решений.

Еще один фактор, который значительно влияет на производительность человека и принятие решений, – это стресс. Условием, способствующим повышению устойчивости человека к стрессу, является наличие хорошего здоровья.

Авиация – это область, где особое внимание уделяется состоянию здоровья. Это не только применяется к новым сотрудникам, но также и к тем, кто уже выполняет свои профессиональные обязанности. За здоровьем пилотов ведется постоянное наблюдение, а персонал периодически находится под наблюдением. Принимая во внимание работу авиадиспетчеров или летного экипажа, здоровье этих людей не может быть сомнительным. Экипаж должен быть устойчив к работе в различных физических условиях (перегрузка, перепады давления или температуры), в которых экипаж должен действовать быстро, чтобы противостоять усталости. Другой способ уменьшить стресс – это классификация категорий личности, определенная Гиппократом. Классификация человека по этому принципу позволяет определить, как он работает или тип реакции в данной ситуации. В настоящее время используются термины в соответствии с цветами, которые они означают:

– Меланхолия / холодный синий цвет означает глубину и склонность личности к депрессии. Присутствует: низкая выносливость, высокая эмоциональная реактивность, низкая активность.

– Флегматик / зеленый успокаивающий отвечает за стабильность, спокойствие и пассивность. Присутствует: низкая эмоциональная реактивность (означает спокойствие), низкая активность.

– Сангвинизм / солнечный желтый ассоциируется с энергией и оптимизмом. Присутствует: отличная способность к обработке информации, высокая выносливость, низкая эмоциональная реактивность (спокойствие), высокая активность;

– Холерик / огненно-красный отвечает за контроль гнева.

В настоящее время эта модель полезна при работе с часто меняющимся персоналом (например, «капитан – первый офицер») и во время отбора кандидатов при собеседовании. С помощью этой модели можно определить личность другого человека, его предрасположенность к работе или способ его сотрудничества с другими.

Для каждой личности были также определены стрессоры, стресс и антистрессоры. Знание данной категоризации очень полезно и позволяет навести порядок в общении и сотрудничестве с людьми, которые знакомы с этими принципами. Правильно воспринимая другого человека, по его ожиданиям, стресс может и экономить время от ненужного общения.

Психологический отбор предназначен для оценки психических качеств и особенностей личности кандидата, необходимых для успешной и эффективной профессиональной деятельности, и обеспечения безопасности полетов. Секрет хорошего психологического отбора состоит в разработке и использовании адекватного инструментария для диагностики сложных возможностей управления современными самолетами, его валидации и высокой прогностики. Цели и принципы в разработке методики психологической оценки и отбора кандидатов на летную подготовку должна охватить эти базовые и в тоже время сложные и конкретные цели и решать следующие задачи:

– легкость в использовании;

– обеспечение стандартного процесса оценки;

– гибкость применения при оценке различных специалистов авиации: профессиональных пилотов, пилотов-любителей, менеджеров рейсов, кабин и других, и может быть использован для первоначального выбора, повторного отбора и экспертной оценки, или для конкретных психологических и медицинских исследований;

– полученные результаты должны быть подробными и сопоставимыми, подходить для статистического анализа, для нормирования тестов и психологических исследований; подходить для составления баз данных для качества каждого кандидата для отслеживания его прогресса;

– могут легко совершенствоваться, не внося изменения в нормы, стандарты верификации и стандарты изучения характеристик; могут быть дополнены новыми данными и тестовыми методиками.

Психологическое исследование с целью отбора кандидатов на начальном этапе подготовки CPL(A) (H), ATCL должно выполняться поэтапно. Успешно справившиеся переходят к следующему этапу:

1 Первый этап включает в себя аппаратное исследование, базовые качества для операционной деятельности – PATBA – Psychology Assessment Test Battery in Aviation.

2 Второй этап включает в себя аппаратное исследование возможности для выполнения сложных многофакторных задач вомбат – WOMBAT-CS – ориентация в ситуации и устойчивость к стрессу – для пилотов

3 Третий этап предполагает изучение особенностей личности кандидата и оценки поведения личности через анкеты, Assessment center – оценку поведения, общения и возможностей для работы в команде и структурированное интервью.

Дальнейшая валидация системы в поисках степени его прогностики – это вопрос будущей разработки, поскольку опрошенные кандидаты могут находиться в процессе обучения. На дальнейших этапах нашего исследования мы планируем изучить взаимосвязь между некоторыми качествами личности с комплексом когнитивных и моторных качества.

## ВЫВОДЫ

Человеческий фактор уже давно является серьезной угрозой безопасности полетов и оказывает на нее глубокое влияние. Это часто приводило к катастрофам, но опыт, накопленный в результате таких авиационных происшествий, позволил разработать превентивные меры, которые впоследствии повысили бы уровень безопасность полетов. Действующие методы предотвращения ошибок человека как причины несчастных случаев – цель исследований ученых. Единственная трудность в попытке полностью устранить ошибки, допущенные операционным персоналом, это психофизиологические факторы человека. Человеческий фактор – это человек в погоне за высочайшим уровнем безопасности, который проектирует самолеты, создает нормы авиационного права и процедуры, управляет самолетом на земле и в воздухе, а также управляет авиационной организацией путем внедрения всех методов, описанных в статье. Для того, чтобы уменьшить возможность ошибок, следует обратить внимание на повышение профессиональной квалификации, повышение знаний и совершенствование практических навыков авиационных специалистов. Можем заключить, что динамичное развитие авиации и сохраняющаяся необходимость обеспечения высокого авиационного уровня безопасности требует продолжения исследований в этой области, что будет основой для постоянного контроля и поддержки необходимого уровня безопасности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Гузий, А. Г., Лушкин, А. М.** Методические особенности подготовки специалистов по управлению безопасностью авиационных полетов // Вопросы

безопасности. 2016. № 3. С. 30-40. DOI: 10.7256/2409-7543.2016.3.19013 URL : [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=19013](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=19013)

2 **Николайкин, Н. И., Цетлин, В. В., Савчуков, С. А., Пожелуева, З. В., Старков, Е. Ю.** О необходимости и возможности снижения воздействия человеческого фактора на безопасность полётов // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2017. № 2. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-neobhodimosti-i-vozmozhnosti-snizheniya-vozdeystviya-chelovecheskogo-faktora-na-bezopasnost-polyotov> (дата обращения: 20.02.2020).

3 **Марихин, С. В., Афанасьев, Н. В.** Роль человеческого фактора в системе управления безопасностью полётов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 3–2. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-chelovecheskogo-faktora-v-sisteme-upravleniya-bezopasnostyu-polyotov> (дата обращения: 20.02.2020).

4 **Зубков, Б. В.** Безопасность полётов : учебник / под. ред. Б. В. Зубкова. – Ульяновск : УВАУ ГА (И), 2012. – 451 с.

5 **Шаров, В. Д.** Методология управления риском безопасности полётов на уровне авиапредприятия : дис. ... д-р. техн. Наук : 05.22.14. – М. : МГТУ ГА, 2016. – 398 с.

6 Человеческий фактор в авиации – реальность и мифы / Л. Кайдалов. URL : <https://www.aex.ru/docs/4/2018/12/19/2855/>

7 **Glendon, A. I., S. Clarke,** 2016: Human safety and risk management. A psychological perspective. CRC Press.

8 **Reason, J.,** 1998: Achieving a safe culture: theory and practice. // Work & Stress, 1998, vol. 12, № 3.

9 **Roe, R., P. Ester,** 1999: Values at work: Empirical Findings and Theoretical Perspective. // Applied Psychology: An International Review, 1999, 48 (1), – p. 1–21.

10 **Caldwell, J.** (1998 September). Fatigue facts for aviators and everyone else. Flying society. Retrieved from <http://search.proquest.com.ezproxy.libproxy.db.erau.edu/docview/213802279?accountid=27203>

11 **Caldwell, J. A.** (2005). Fatigue in aviation. Travel Medicine and Infectious Disease, 3(2), 85–96. Retrieved from doi: <http://dx.doi.org.ezproxy.libproxy.db.erau.edu/10.1016/j.tmaid.2004.07.008>

12 **Hamilton, J. S.** (2015). Practical aviation & Aerospace law workbook, Sixth edition. Newcastle, WA.

13 **Harris, D.** (2007). A human-centered design agenda for the development of single crew operated commercial aircraft. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 79(5), 518–526. doi: <http://dx.doi.org.ezproxy.libproxy.db.erau.edu/10.1108/00022660710780650>

14 **Kurcu, C., Erhan, H., & Umur, S.** (2012). Human factors concerning unmanned aircraft systems in future operations. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 65(1–4), 63–72. Retrieved from doi: <http://dx.doi.org.ezproxy.libproxy.db.erau.edu/10.1007/s10846-011-9592-2>

15 **McAndrew, I. R., & Moran, K.** (2013). Aerodynamic design considerations for in-flight refueling of unmanned vehicles. *Applied Mechanics and Materials*, 390, 43. doi: <http://dx.doi.org.ezproxy.libproxy.db.erau.edu/10.4028/www.scientific.net/AMM.390.43>

16 National Transportation Safety Board. NTSB.gov. [https://www.ntsb.gov/\\_layouts/ntsb.aviation/Results.aspx?queryId=d45ff71a-01ef-403b-bee8-d4cd659d1b4c](https://www.ntsb.gov/_layouts/ntsb.aviation/Results.aspx?queryId=d45ff71a-01ef-403b-bee8-d4cd659d1b4c)

17 **Strauch, B.** (2017). Investigating human error, incidents, accidents and complex systems. <https://www.taylorfrancis-com.ezproxy.libproxy.db.erau.edu/books/9781317113119>

18 (2018) Federal Aviation Regulations/Aeronautical Information Manual. Newcastle, Washington: Aviation Supplies & Academics, Inc Rodrigues, C. C. & Cusick, S. K. (2012). Commercial aviation safety (5th ed.). New York : McGraw-Hill

19 (2017). Flight services. 1800wxbrief. Retrieved from <https://www.1800wxbrief.com/Website/#!/services>

20 (2017 March, 6). Changing the way pilots and Controllers communicate. The US. Department of Transportation. Retrieved from <https://www.volpe.dot.gov/safety-management-and-human-factors/aviation-human-factors/changing-way-pilots-and-controllers>

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

Қ. Т. Көшекөв<sup>1</sup>, Р. Қ. Анаятова<sup>2</sup>, А. П. Кислов<sup>3</sup>

**Ұшу қауіпсіздігіне адам факторының теріс әсерін азайту жолдары**

<sup>1,2</sup>«Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ,

Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

K. T. Koshekov<sup>1</sup>, R. K. Anaytova<sup>2</sup>, A. P. Kislov<sup>3</sup>

**The ways to reduce the negative influence of the human factor on safety**

<sup>1,2</sup>JSC «Civil Aviation Academy»,

Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan.

<sup>3</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада адам факторының ұшу қауіпсіздігіне теріс әсерін азайту жолдары қарастырылған. Қателіктер мүмкіндігін азайту үшін авиациялық мамандардың кәсіби біліктілігін арттыруға, білімін арттыруға және практикалық дағдыларын жетілдіруге назар аудару қажет. Қазіргі уақытта авиацияның дамуы өте қарқынды болғандықтан, авиациялық қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз ету қажеттілігі сақталады, бұл мәселе Қазақстан Республикасының ұшу қауіпсіздігінің қажетті деңгейін үнемі бақылау және ұстап тұру үшін осы салада үнемі зерттеулер жүргізуді қажет етеді.*

*The article examines ways to reduce the negative impact of the human factor on flight safety. In order to reduce the possibility of errors, attention should be paid to improving professional skills, increasing knowledge and improving practical skills of aviation specialists. Due to the fact that the development of aviation is currently quite dynamic, there is still a need to ensure a high level of aviation safety, this issue requires continued research in this area to constantly monitor and support the necessary level of flight safety in the Republic of Kazakhstan.*

**М. К. Куанышев<sup>1</sup>, А. Ж. Мурзагалиев<sup>2</sup>,  
Н. С. Сембаев<sup>3</sup>, С. И. Ахметов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Т.ғ.к, доцент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өнер мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>Т.ғ.к, доцент, Қ. Жұбанов атындағы АӨМУ, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>Т.ғ.к, доцент, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>докторант PhD, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы

## **ІШТЕН ЖАНУ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢСЫРҒАНАУ МОЙЫНТІРЕКТЕРІНІҢ ТОЗУ ПРОЦЕСТЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

*Үйкеліс және тозу бойынша есептер, әдетте, кең тәжірибелік зерттеулерді орындаумен тығыз байланысты. Сонымен қатар, пайдалану режимінің анықтаушы факторы үйкеліс торабының жылу кернеулігі болып табылады.*

*Сырғанау мойынтрактерінің жұптарын үйкелту мен тозу бойынша теориялық және эксперименттік зерттеулерге жүргізілген талдау үйкеліс коэффициентінің шамасына, тозудың және олардың конструкциялық өлшемдерінің өзгеру сипатына әсер ететін негізгі факторлар температуралық, жылдамдық пен жүктеме режимі болып табылатынын көрсетеді.*

*Бұл жағдайда жұмыс уақыты немесе температура, жылдамдық және жүктеме функциясы, немесе барлығы бірге қандай маңызды рөл атқаратынын айту қиын. Сондықтан тәжірибе нәтижелерін алу қажеттілігі анық, олар бойынша сараланған және кешенді әсер етудің сандық және сапалық жағын мүмкіндігінше үйкеліс пен тозуға факторлардың көп санын нақты анықтауға болады.*

*Зерттеу міндеттеріне сәйкес негізгі факторлардың жанасу элементтерінің подшипниктерінің тозуына әсерін анықтау қажет*

*Кілтті сөздер: іштен жану қозғалтқыш, мойынтрак, тозу, регрессиялық талдау, температура, математикалық модель*

## **КІРІСПЕ**

Сырғанау мойынтрактер жұмысының шарттарын оларды автомобиль немесе трактор іштен жану қозғалтқышына қолдану мысалында қарастырайық. Сырғанау мойынтрактері қуаттық агрегатта поршеннің қайтымды-ілгерілемелі қозғалысындағы біліктің айналмалы қозғалысына түрлендіру элементтерінің құрамында қолданылады.

Үйкеліс және тозу бойынша есептер, әдетте, кең тәжірибелік зерттеулерді орындаумен тығыз байланысты. Сонымен қатар, пайдалану режимінің анықтаушы факторы үйкеліс торабының жылу кернеулігі болып табылады.

Сырғанау мойынтрактерінің жұптарын үйкелту мен тозу бойынша теориялық және эксперименттік зерттеулерге жүргізілген талдау үйкеліс коэффициентінің шамасына, тозудың және олардың конструкциялық өлшемдерінің өзгеру сипатына әсер ететін негізгі факторлар температуралық, жылдамдық пен жүктеме режимі болып табылатынын көрсетеді.

Алайда, осы саладағы тәжірибелік зерттеулер көбінесе қарама-қайшы сипатқа ие. Бұл сынаудың бірыңғай әдістемелерінің және шарттарының болмауы (өзара әрекеттесетін денелердің нысандары мен өлшемдері, жүктеме диапазондары мен сырғу жылдамдығы, зерттелетін материалдардың сапасы мен үлгілерді дайындау) әр түрлі өзара әрекеттесуге және аталған факторлардың әрқайсысының зерттеу нәтижелеріне қосқан үлесіне байланысты. Мысалы, сырғанау жылдамдығының үйкеліс коэффициентіне және сырғанау подшипниктері буының тозуына әсері материал бетіндегі жанасу және релаксация уақытының ара қатынасымен, сондай-ақ жанасатын денелер көлеміндегі температура мен температуралық градиенттер бетінің шамаларымен анықталады.

Бұл жағдайда жұмыс уақыты немесе температура, жылдамдық және жүктеме функциясы, немесе барлығы бірге қандай маңызды рөл атқаратынын айту қиын. Сондықтан тәжірибе нәтижелерін алу қажеттілігі анық, олар бойынша сараланған және кешенді әсер етудің сандық және сапалық жағын мүмкіндігінше үйкеліс пен тозуға факторлардың көп санын нақты анықтауға болады.

## **НЕГІЗГІ БӨЛІМ**

Зерттеу міндеттеріне сәйкес негізгі факторлардың жанасу элементтерінің, яғни мыстан жасалған сырғанау подшипниктерінің тозуына әсерін анықтау қажет [1–7].

Негізгі факторлар ретінде тандаймыз:

- сырғанау мойынтрактеріне жүктеме (үлестік қысым,  $q - x_p$ , МПа);
- қозғалтқыш иінді білігінің айналу жиілігі,  $n - x_2$  ( $c^{-1}$ );
- жанасу элементтері аймағындағы температура,  $t_0 - x_3$  ( $^{\circ}C$ ).

Меншікті қысымының  $q$  үшін,  $n$ -айналу жиілігінің және  $t^0$ -температурасының тозуға бірлескен әсерін анықтау үшін жұлдызды нүктелермен екінші ретті ортогоналдық жоспарды пайдаланған.

Априори көрсетілген факторларға тозуқарқындылығының тәуелділігісызықты емес түрге ие екендігі анықталды. Бұл ретте факторлардың түрлену деңгейлерінің мәндері үйкеліс эксперименталды торабының жұмысы жағдайында байқалғандардың мәндерін есепке ала отырып таңдалады.

Зерттеу шарттары үшін факторлардың заттай мәндері көрсетілген шектерде болған:

- меншіктіқысым,  $МПа$  – от 1 до 2;
- иінді біліктің айналымы,  $n, c^{-1}$  – от 15 до 60;
- температура,  $t^0 C - 80^0-120^0$  дейінгі аралықта.

Зерттеу шарттары үшін факторлар деңгейлерінің таңдалған табиғи мәндеріне формула бойынша кодтаймыз

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \quad (1)$$

Мұндағы  $X_i$  –  $i$ -фактордың кодтық мәні, (тиісінше  $q, n, t$ );

$x_i$  –  $i$ -ші фактордың ағымдағы табиғи мәні;

$x_{i0}$  –  $i$ -ші фактордың бастапқы деңгейі;

$\Delta x_i$  –  $i$ -ші фактордың өзгеру аралығы.

1-кестеде. Табиғи және кодтық бірліктердегі «жұлдызды» нүктелердің берілген мәніндегі өзгермелі факторлардың деңгейлері көрсетілген.

Кесте 1 – факторлардың өзгеру деңгейлері

Факторлардың деңгейлері	Кодтық мәндер			Табиғи мәндер		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$q, МПа$	$n, c^{-1}$	$t, ^\circ C$
Негізгі деңгей	0	0	0	1,5	40	100
Әрлеу аралығы	1	1	1	0,5	20	20
Жоғарғы деңгей	+1	+1	+1	2,0	60	120
Төменгі деңгей	-1	-1	-1	1,0	20	80
Жұлдызды нүктелер (-)	-1,41	-1,41	-1,41	0,8	12	72
Жұлдызды нүктелер (+)	+1,41	+1,41	+1,41	2,2	68	128

Эксперименттің таңдалған жоспарына сәйкес факторлар мен үйкеліс және жұлдызды нүктелердің берілген мәні  $\alpha=1,41$  кезінде эксперименталды қондырғыда 18 рет сынау тәжірибесі іске асырылды. Оның ішінде 4 факторлық кеңістік аймақтық орталығында. Әрбір тәжірибе

кездей соқретпен өткізілді, яғни уақыт бойынша рандомизацияланған. Эксперимент қателігін болдырмау үшін тәжірибе екі рет қайталанды. Зерттелетін оңтайландыру параметрі ретінде сызықтықтозу көрсеткіші қабылданды, яғни қосымша беттер массасының жоғалуы  $-y_u(z)$ .

Қабылданған жорамалдар негізінде экспериментті жоспарлау матрицасы жасалды (2-кесте).

Бұл кестеде  $y_{u1}, y_{u2}$  – ағымдағы мәндер қайталанған 1,2 және  $\bar{y}$  – параметрдің орташа мәндері. Мұнда  $\hat{y}$  – процестің математикалық моделі үшін қабылданған регрессия теңдеуінен алынған параметрдің есептік мәндері бар.

Кесте 2 – Экспериментті жоспарлау матрицасы

Тәжірибе №	Жоспарлау матрицасы			Тозу, $\cdot 10^{-2}z$			У	$(\bar{y}_b - \hat{y}_u)/x \cdot 10^{-4}$	$(\bar{y}_b - \hat{y}_u)^2/x \cdot 10^{-2}$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$			
1	-1	-1	-1	2,5	2,3	2,40	2,41	-0,01	0,0001
2	+1	-1	-1	2,3	2,4	2,35	2,26	0,09	0,0081
3	-1	+1	-1	3,4	3,20	3,30	2,87	0,43	0,1849
4	+1	+1	-1	2,6	2,7	2,65	3,01	-0,36	0,1296
5	-1	-1	+1	5,6	5,4	5,50	5,41	0,09	0,0081
6	+1	-1	+1	5,1	5,0	5,05	4,91	0,14	0,0196
7	-1	+1	+1	5,3	6,0	5,65	6,05	-0,4	0,16
8	+1	+1	+1	4,8	5,0	4,90	5,21	-0,31	0,0961
9	-1,41	0	0	3,5	3,7	3,60	3,82	-0,22	0,0484
10	+1,41	0	0	2,4	2,5	2,45	2,61	-0,16	-0,0256
11	0	-1,41	0	2,6	2,6	2,60	2,50	0,1	0,01
12	0	+1,41	0	3,0	3,1	3,05	2,98	0,07	0,0049
13	0	0	-1,41	2,3	2,4	2,35	2,49	-0,14	0,0196
14	0	0	+1,41	3,5	3,6	3,55	3,51	0,04	0,0016
15	0	0	0	2,8	2,7	-	2,95	+0,05	0,0025
16	0	0	0	3,0	2,8	2,9	2,95	+0,05	0,0025
17	0	0	0	2,6	2,5	-	2,95	0,05	0,0025
18	0	0	0	2,9	3,0	-	2,95	0,05	0,0025

Математикалық модельді алу үшін жұмыста регрессиялық талдау элементтері және алынған деректерді өңдеу мен бағалаудың тиісті әдістемесі қолданылды. Тәжірибе жоспарын іске асыру нәтижелерінде алынған деректер негізінде 2 кестені құраймыз.

Өйткені біз іске асырылды ортогоналды жоспары екінші тәртіпті біркелкі емес саны тәжірибелер барлық нүктелерінде жоспарын



(кіріспе «жұлдыздынүктесі»),  $B$  – критериясын пайдалана отырып  $S^2_u$  – біртектілігінанықтау дисперсиясы (өлшемБартлетта) [5].

[6, 7] сәйкес, Бартлетта  $B$ -критерийі бойынша есептеледі

$$B = \frac{2,303}{c} (f \lg S^2(y) - \sum_{u=1}^N f_u \lg S^2_u) \quad (2)$$

мұнда қабылданды:

$$C = 1 + \frac{1}{3(N-1)} \left( \sum_{u=1}^N \frac{1}{f_u} - \frac{1}{f} \right) \quad (3)$$

мұнда  $f$  – барлық эксперименттің еркіндік дәрежелерінің саны;

$f_u$  – параллель тәжірибелер еркіндігі дәрежелерінің саны;

$S^2_u$  – параллель тәжірибелер дисперсиясы.

$S^2_u$  дисперсиясының біртектілік шарттары болып саналады:

$$B_p > B_{кесте}$$

$S^2_u$  дисперсиясы бір тектес болған жағдайда, қалпына келтіру дисперсиясын және эксперименттің қатесіне септейді.

$$S^2(y) = \frac{1}{\sum_{u=1}^N f_u} \sum_{u=1}^N f_u S^2_u \quad (4)$$

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} \quad (5)$$

мұнда  $S^2_{(y)}$  – іске асырылатын дисперсиясы;

$S_{(y)}$  – эксперименттің орташа квадраттық қатесі.

Параллель тәжірибелер дисперсиясының біртектілігіна нықтағаннан кейін регрессиялық талдау қолданылды.

Осы әдістемегесәйкес  $B$  – критерий мәнінеспетейміз.

$B$ -өлшем мәндерін есептеу үшін 3 кестені қолданамыз.

Кесте 3 – Бартлетт  $B$  критериясыөлшеміндегімәндердіесептеу

Тәжірибе №	$(y_{u1}-y_u)^2$ x 10 <sup>-4</sup>	$(y_{u2}-y_u)^2$ x 10 <sup>-4</sup>	$\sum (y_{in}-y_u)^2$ x10 <sup>-4</sup>	$S^2_u \cdot 10^4$	$\lg S^2_u$	$f$	$f_u \cdot \lg S^2_u$
1	1,00	1,00	2,00	4,00	-3,3979	1	-3,3979
2	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
3	1,00	1,00	2,00	2,00	-3,6990	1	-3,6990
4	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
5	1,00	1,00	2,00	2,00	-3,6990	1	-3,6990

6	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
7	12,25	12,25	25,0	25,0	-2,6021	1	-2,6021
8	1,00	1,00	2,00	2,00	-3,6990	1	-3,6990
9	1,00	1,00	2,00	2,00	-3,6990	1	-3,6990
10	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00
12	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
13	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
14	0,25	0,25	0,50	0,50	-4,3010	1	-4,3010
15+18	13	21,00	34,00	4,85	-2,3143	7	-16,1998
						$\Sigma=21,00$	$\Sigma=-67,1028$

3-кестенің деректеріне сәйкес, мына формула бойынша көбейтудің дисперсиясына нықтаймыз:

$$S^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N f_u S^2_u}{\sum_{u=1}^N f_u} = \frac{74,45 \cdot 10^{-4}}{21} = 3,56 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

Тиісінше сәйкес,  $C$  параметрінің есептік мәндері сол сияқты анықталады:

$$C = 1 + \frac{1}{3(N-1)} \left| \sum_{u=1}^N \frac{1}{f_u} - \frac{1}{f} \right| = 1 + \frac{1}{3(15-1)} \cdot \left( \frac{14}{1} - \frac{1}{7} - \frac{1}{21} \right) = 1,34 \quad (7)$$

$B$  – критерия өлшемінің септік мәні:

$$B = \frac{2,303}{1,34} \cdot 21 \cdot (-3,4486) - (-67,103) = 9,139.$$

Орташа квадраттық эксперимент қатесі:

$$S_{(y)} = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{3,56 \cdot 10^{-4}} = 1,89 \cdot 10^{-2} \quad (8)$$

$B$ -өлшемнің есептік мәндерін  $B=2,24$  кестелік мәнмен мәнділік деңгейі  $-0,05$  және еркіндік дәрежелері жағдайында  $f=14$  салыстырамыз.

Өйткені,  $B_p = 9,139 < B_{табл} = 22,4$ , гипотеза туралы біртектілігі дисперсий параллель тәжірибелер растайды.

Бұдан әрі әдістемеге сәйкес жалпы түрде екінші ретті полином түрінде ұсынылатын регрессия теңдеуінің коэффициенттерін есептейміз:

$$y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_3 \cdot x_3 + B_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \dots + B_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + B_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + B_{11} \cdot x_1^2 + B_{22} \cdot x_2^2 + \dots + B_{33} \cdot x_3^2; \quad (9)$$

мұндағы  $B_0, B_1, B_3, \dots, B_{33}$  – формулалар бойынша анықталатын теңдеу коэффициенттері [5];

$x_1, x_2, x_3$  – факторлардың мәні;

$x_1 \cdot x_2, x_2 \cdot x_3, x_1 \cdot x_3$  – факторлардың жұпты көзара әрекеттесуі.

Коэффициенттердің мәні формулалар бойынша есептелген:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{0u} \cdot y_u}{N} \quad (10)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{2^k + 2\alpha^2} \quad (11)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{2^k} \quad (12)$$

Маңызды коэффициенттерді есепке ала отырып, регрессия теңдеуінің түрі бар:

$$y = (2,31 + 0,8 \cdot x_1 + 0,008 \cdot x_2 + 0,001 \cdot x_3 - \dots - 0,024 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0002 \cdot x_{22}) \cdot 10^{-2} \quad (13)$$

Осы регрессия теңдеуі үшін адекваттылық дисперсиясы құрайды

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\hat{y}_u - \bar{y})^2 \cdot 10^{-4}}{N - \lambda} = \frac{0,6305 \cdot 10^{-2}}{15 - 7} = 7,88 \cdot 10^{-4} \quad (14)$$

мұнда  $\lambda=7$  регрессияның маңызды коэффициенттерінің саны.

Регрессия теңдеуін Фишердің  $F$ -өлшемі бойынша адекваттылық катексереміз:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2(y)} = \frac{7,88 \cdot 10^{-4}}{3,56 \cdot 10^{-4}} = 2,2 \quad (15)$$

Еркіндік дәрежелері үшін  $f_{ay} = 8, f_E = 21$  және мәнділік деңгейінде  $\alpha = 0,025$ ,

$F_{кесте} = 2,87$ , өйткені  $F_{есен} < F_{кесте}$ , регрессия теңдеуін  $\alpha = 0,025$  мәнділік деңгейінде барабар деп есептеуге болады. Осылайша, жеткілікті сенімділікпен регрессия теңдеуін процестің математикалық моделі деп есептеуге болады.

### ҚОРЫТЫНДЫ

Алынған математикалық модельді талдау келесі қорытынды алуға мүмкіндік береді:

1 Мыстан жасалған сырғанау мойынтіректерінің тозуы салыстырмалы қысым, жұмыс режимі, мойынтіректер аймағындағы температура сияқты факторлардың мәніне байланысты. Сырғанау мойынтіректерінің тозуының анықтаушы факторы бет бірлігіне үлестік жүктеме болып табылады.

2 Жүктеме мен температураның ұлғаюымен тозу тікелей тәуелділік бойынша, ал жұмыс режимдерінің өзгеруі кезінде далалық тәуелділік бойынша өзгереді.

3 Жүктеменің, жұмыс режимдерінің және температураның өзара әрекеттесуі әсерлері анықталды. Қозғалтқыштың иінді білігінің шекті және номиналды жүктемелері мен жоғары айналымдарындағы жұмыс режимдері кезінде сырғанау мойынтіректерінің жоғары тозуы байқалады.

4 Әсер ететін факторлардың берілген мәндерін ескере отырып, мойынтіректердің көрсеткіштері, сондай-ақ олардың өзгеруінің тар диапазоны қарастырылатын мойынтіректерді қолдану шарттары бойынша сырғу мойынтіректерінің сапасын бағалауды бір фактор бойынша – тозу қарқындылығы бағалауға болады.

Тозу процесін математикалық үлгілеудің келтірілген нәтижелері және жоғарыда жасалған қорытындылар негізінде мойынтіректерді зерттеу үшін тәжірибелік қондырғыда орындалды және олардың сапалық көрсеткіштері анықталып бағаланды.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Адлер, Ю. П., Макаров, Е. В., Грановский, Ю. В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. Наука, 1976. – 226 с.

2 **Евдокимов, Ю. А., Колесников, В. И., Тетерин, А. И.** Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М. Наука, 1980. – 228 с.

3 **Барабаш, М. Л., Мусийко, В. Д., Маслов, Е. Е. и др.** Влияние различных факторов на силу трения. В кн. Проблемы трения и изнашивания. – Киев, Техника, 1974, № 6. – С. 24–28.

4 **Костецкий, Б. И.** Трение, смазка и износ в машинах. – Киев, Техника, 1970. – 396 с.

5 **Колкер, Я. Д.** Математический анализ точности механической обработки деталей. – Киев, Техника, 1976. – 2090 с.

6 **Румшинский, Л. З.** Математическая обработка результатов эксперимента. – М. Наука, 1971. – 191 с.

7 **Солонин, И. С.** Математическая статистика в технологии машиностроения. – М. Машиностроение, 1972. – 216 с.

8 **Куанышев, М. К., Каукаров, А. К., Мурзагалиев, А. Ж.** The international Journal of Advanced Manufacturing Technology Англия, The improvement of friction bearing manufacturing technology by using copper alloy. DownloadYour e-Offprint, 2016.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*М. К. Куанышев<sup>1</sup>, А. Ж. Мурзагалиев<sup>2</sup>, Н. С. Сембаев<sup>3</sup>, С. И. Ахметов<sup>4</sup>*

**Математическое моделирование процессов изношенности подшипников сгорания двигателя внутреннего сгорания**

<sup>1,2</sup>Актюбинский региональный государственный университет

имени К. Жубанова,

г. Актөбе, 030000, Республика Казахстан;

<sup>3,4</sup>Павлодарский государственный университет

имени С. Торайгырова,

г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*М. К. Kuanyshv<sup>1</sup>, A. Zh. Murzagaliev<sup>2</sup>, N. S. Sembaev<sup>3</sup>, S. I. Akhmetov<sup>4</sup>*

**Mathematical modeling of wear of the bearings of combustion of the internal combustion engine**

<sup>1,2</sup>K. Zhubanov Aktobe Regional State University,

Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3,4</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Расчеты по трению и износу, как правило, тесно связаны с выполнением обширных практических исследований. При этом определяющим фактором режима эксплуатации является тепловая напряженность узла трения.*

*Анализ теоретических и экспериментальных исследований по трению и износу пар подшипников скольжения показывает, что основными факторами, влияющими на величину коэффициента трения, характер износа и изменения их конструктивных параметров, являются температурный, скоростной и нагрузочный режим.*

*В этом случае трудно сказать, какую важную роль играет рабочее время или температура, скорость и функция нагрузки, или все вместе. Поэтому необходимость получения результатов эксперимента очевидна, количественную и качественную сторону*

*дифференцированного по ним и комплексного воздействия можно точно определить, насколько это возможно, большое количество факторов трения и износа.*

*В соответствии с задачами исследования необходимо определить влияние основных факторов на износ подшипников сопряжения элементов*

*Friction and wear reports are usually closely related to the performance of extensive experimental studies. In addition, the determining factor of the mode of operation is the thermal stress of the friction unit.*

*The analysis of theoretical and experimental studies on friction and wear of pairs of bearings shows that the main factors influencing the magnitude of the coefficient of friction, the nature of wear and changes in their design dimensions are temperature, speed and load regime.*

*In this case, it is difficult to say what important role the operating time or temperature, speed and load function, or all together. Therefore, the need to obtain experimental results is clear, according to which the quantitative and qualitative aspects of differentiated and complex effects can be clearly identified as many factors as possible friction and wear. In accordance with the objectives of the study, it is necessary to determine the effect of key factors on the wear of the bearings of the contact elements.*

**Ye. K. Makatov**<sup>1</sup> [0000-0002-9223-3594], **Al. U. Aktayeva**<sup>2</sup> [0000-0002-4308-4553], **S. I. Khan**<sup>3</sup>, **G. Kalman**<sup>4</sup>, **A. K. Shonasheva**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Master of Pedagogical Sciences, graduate student, lecturer, Department «Information Systems and Computer Engineering», Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>PhD, Associate Professor, Department «Information Systems and Computer Engineering», Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, head of the Department «Information Systems and Computer Engineering», Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Master of Technical Sciences, lecturer, Department «Information Systems and Computer Engineering», Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan;

<sup>5</sup>Master of Technical Sciences, lecturer, Department «Information Systems and Computer Engineering», Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan

e-mail: <sup>1</sup>m.yerkhan@list.ru; <sup>2</sup>aaktaewa@list.ru; <sup>3</sup>isivt@mail.ru;

<sup>4</sup>Knay\_b@mail.ru; <sup>5</sup>aigera0709@list.ru

## SOCIAL NETWORKS AS THREAT OF INFORMATION SECURITY

*Today all of us live in the world which is connected by network and information technologies, from the Internet of banking to the state infrastructure and for this reason the cyber security is needed.*

*In literature as a concept synonym «social networks» the concept «micro blogging» is also used. Social networks are characterized by simplicity of realization of advance of business, distribution of professional advertising, leisure, a hobby, personal contact and exchange of information, that being an open source of information for malefactors. As a rule, malefactors apply roguish schemes to the achievement of the purposes in a social network that is confirmed by researches*

*The results of the carried-out analysis will allow preventing threats of information security, to counteract the attacks of malefactors who often use methods of competitive investigation and social engineering due to the application of measures of counteraction, to develop a model of protection*

*against targeted information and to realize the special software for his integration in social networks.*

*Keywords: virtual social network, targeted information, undesirable information, malefactor, information security.*

## INTRODUCTION

According to the report of Kaspersky Lab, exploits for Microsoft Office – the malicious applications used in the attacks through vulnerabilities in ON – became one of the most widespread cyber threats in the first quarter 2018. In general, the number of users who have suffered from the infected documents of office applications has increased more than four times in comparison with the first quarter 2017. In only three months the share of exploits for Microsoft Office has increased practically up to 50 % that twice exceeds an average value for the previous year.

## MAIN PART

The hacker attacks reckon as very dangerous as don't demand additional interaction with users with the application of exploits [1]. Often resort to them as the cybercriminals who are looking for illegal sources have arrived, and the state subjects pursuing the malicious aims (see picture 1).



Figure 1 – MAP | Kaspersky Cyber threat Card in real time [2]

The most popular types of the attacks for the last years are:

1 The attacks of Web applications to their share 24 % of all attacks are necessary. This type of breaking includes SQL of an injection; it is SQLI (45 % of all attacks of Web applications) and a site scripting (XSS).

2 The malicious code occupies 19 %. The attack by means of a malicious code happens all types and the sizes, from viruses and worms to spyware. Any user or the company isn't protected from a similar type of the attack.

3 The attacks directed to certain applications their share is occupied by 19 %. The name speaks for itself. These cyber-attacks are directed to certain applications their purpose consists in the interception of packages of data which pass through this application.

By means of the analysis of the passing packages through the application, it is possible to obtain information on the potential victim, for example, what operating system she uses, typical network traffic and also to have an opportunity to obtain information on other applications which are used by the victim.

4 DOS/DDoS Attacks occupy 9 %. DOS (Denial of Service) mean «refusal in service». This type of the attack occurs when the hacker overloads and/or the server by means of a huge number of inquiries «lays down».

DDoS (Distributed Denial of Service) «the distributed refusal in service» the similar type of the attack, but is carried out through much bigger network known as a botnet.

5 The prospecting type of the attack occupies 9 %. There are 2 types of the prospecting attack: passive and active.

The passive prospecting attack is when the hacker looks for confidential information, without interfering with the system of the victim. Active when the hacker interferes with the system of the victim.

Sometimes the active and passive type of the prospecting attack is called passive as instead of the use of the found vulnerability, hackers are engaged only in data collection in preparation for a much larger attack.

6 Other forms of the attacks which aren't listed here occupy the remained 20% of other types of cyberattacks [3].

According to the analysis of cyber threats of Kaspersky Lab (see Picture 2):

- As for the purposes, about a half has traditionally been located in China (47, 53 %) though in comparison with the last quarter their share has decreased a little.

- The number of the attacks and targets has considerably increased, as well as duration of the campaigns. The most length of them didn't cease within 297 hours (more than 12 days), having become one of the longest DDoS-attacks for the last few years.

- The share of Linux botnets has slightly decreased, having made 66 % in comparison with 71 % last quarter.

Leadership in a number of the attacks last quarter keeps China: his share remained almost invariable, having only slightly raised from 59, 18 % to 59, 42 %. The involvement of the USA (17,83 %) which has remained on the second place has increased more considerably – on 1,83 items South Korea has reserved the third position, however, her share has decreased more than by 2 items, from 10,21 % to 8 %.

Great Britain (1, 30 %) has moved from the fourth place to the fifth. Russia, whose share has decreased from 1, 25 % to 0, 76 % was the tenth in the expired quarter. Below this threshold value the Netherlands and Vietnam have fallen, but in TORAHS 10 Hong Kong, which has gained solid 3, 67 % against 0, 67 % at the end of last year and Japan from 1, 16 % have returned [4] (see picture 2).

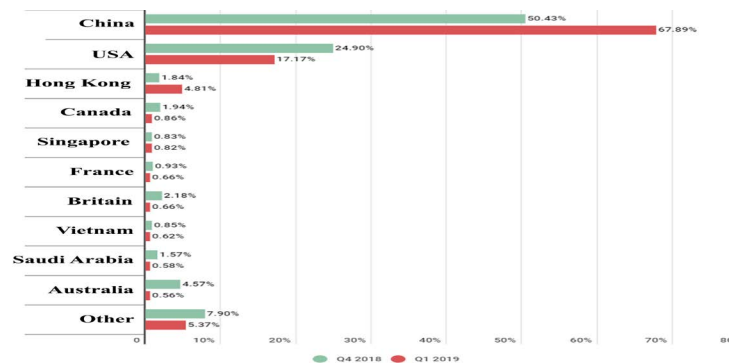


Figure 2 – Comparative analysis of cyber attacks [4]

Let's consider the largest attacks for the last three years. In March, 2016 the Group-IB company which is engaged in investigation of computer crimes, has reported that for half a year, hackers by means of the Buhtrap virus have made 13 successful attacks to the Russian banks as a result of which they have stolen 1,8 billion rubles. Hackers used mailing of letters on behalf of the Bank of Russia. Opening of the document led to start of the program which checked the links connected with Internet bank and the bank software in the history of browsers of computers. If such references were, then the program loaded the malicious software (Buhtrap) from the Internet and established him.

On October 21, 2016 because of the powerful DDoS-attack to the DNS infrastructure of the dying company there were inaccessible for users' websites of Twitter, PayPal, Netflix, Reddit, Github, Soundcloud, Spotify and others. At peak, according to the din, the power of the attack reached 1, 2 Tb / page. The botnet Mirai which code malefactors have uploaded publicly earlier was a traffic source, according to the company. Initially the network from «clever» gadgets, IP cameras and other badly protected devices included about 380 thousand gadgets, however after the publication of their code became much more.

Stealing of the database of the consulting company Experian PLC by hacker group Double Flag who became known in the beginning of December became the most large-scale data leakage in 2016, according to the statements of experts. Criminals have stolen personal and financial information about 203 million clients

of Experian. Hackers have got access to personal information — two names, dates of birth, addresses, phone numbers and so forth, and any could buy this information for 0,8082 bit coins (about \$640 at a current rate) [5].

2017 the hacker attacks have happened to requirements of repayment in a number of the countries worldwide. In Russia the MegaFon and VimpelCom and Ministry of Internal Affairs companies have undergone cyberattacks. Also, hackers tried to crack servers of the Ministry of Health, however department managed to prevent the attack. The attacks to electronic infrastructure were recorded also by Sberbank. Kaspersky Lab then has reported that hackers used the program encoder under the name Wanna Cry. At the same time, they used vulnerability in the Windows system.

2018 the attacks in 79 countries have been recorded (last quarter – in 84 countries). As always, the vast majority of them (95, 14 %) has occurred in the countries of the top ten [6].

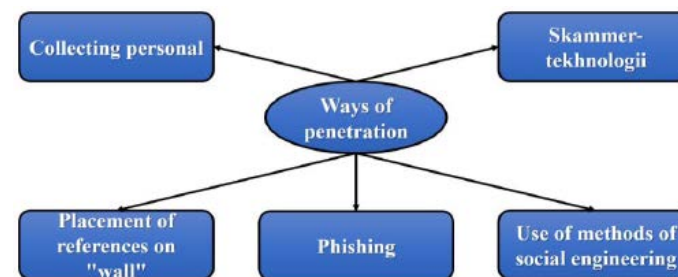
Main threats of cyber security which will arise in 2018 (see Picture 3):



Figure 3 – Main threats of cyber security [7]

As these and other risks will grow in 2018, also penal measures for the companies which won't be able effectively to cope with them will grow. On May 25 in Europe «General provisions on data protection», GDPR will come into force. This first large change in rules of data protection in the region for more than 20 years, and GDPR will be demanded from the companies to report about data leakages to regulators and to inform on leakages of clients within 72 hours after breaking detection (see picture 4). Violators will be punished by a penalty of 20 million euros or 4 % of the income of the company; it is depending on what more. [8]

Very often, if the employer doesn't forbid, users look through social networks directly in a workplace. From the point of view of criminals, social networks – the successful place for distribution of malicious applications. The ultimate goal of crimes – to get access to the corporate network.



Picture 4 – Ways of penetration [8]

We will review examples of realization of cyber attacks by the malefactors using methods of social engineering.

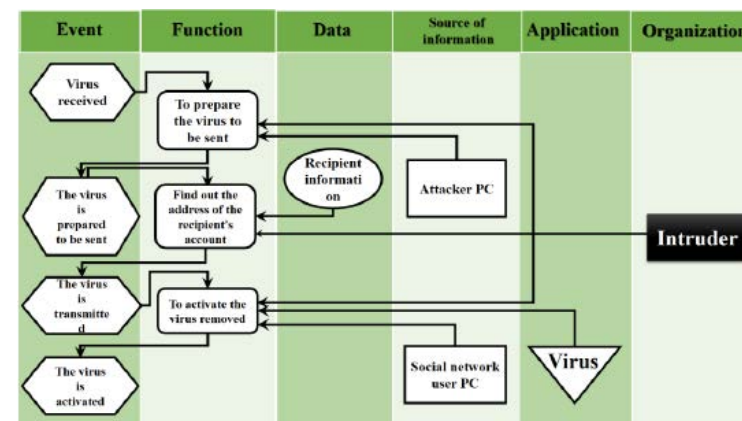


Figure 5 – The chart of process of introduction of the malicious software in the working computer of the user of social networking

In the figure 3 processes of introduction of the malicious software are presented to the working computer of the user of social networking, in the figure 5 – the chart of process of infection of the server of corporate network with the malicious software, and in the figures 6,7 – the UML chart of process of use by the malefactor of these users for money transfer [9].

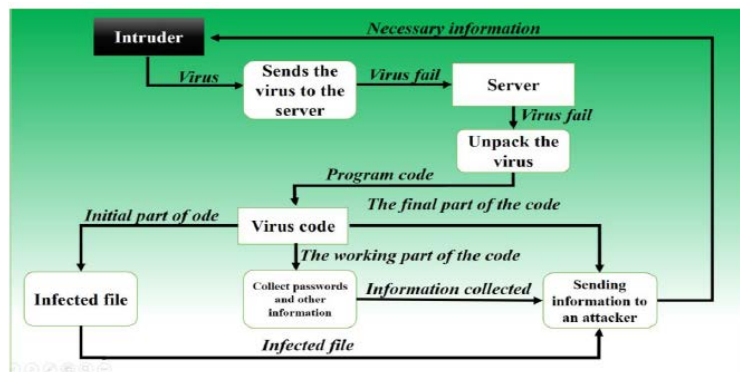


Figure 6 – DFD chart of process of infection of the server of corporate network with the malicious software

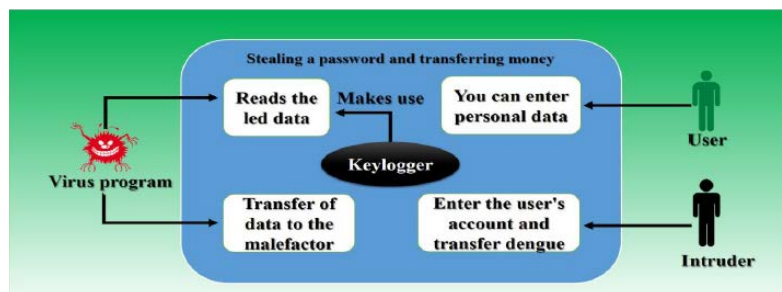


Figure 7 – The UML chart of process of use by the malefactor of these users for money transfer [10]

### CONCLUSION

The important first step on the way to the reduction of risks from cyber-attacks is informing users of social networks about consequences negligent the relation. An object has to protect information and the used information technologies taking new measures of cyber security and to be guided by that as the system is configured and is used.

The results of the analysis allow formulating recommendations for the use of social networking about prevention of incidents:

- 1 To update the password of the account at least once a month.
- 2 To treat more attentively information content of messages of users of social networks as under the guise of the advertising link references to the malicious software can disappear.

3 To treat selected messages in groups of communities «hobby, entertainment», «a problem, a trouble», «acquaintances», «business»;

4 To observe security policy of social networks;

5 To address moderators (administrators) of communities in cases of emergence of suspicious users;

6 To increase the number of key phrases for filtration of undesirable messages.

The network component of any organization extremely often is a weak point in information security so the correct design of network and correctly adjusted devices with the adopted standard of safety is very important.

Portable devices have to be scanned on a malicious code. And also, the limit on information transfer between the figurative carrier and the personal computer is necessary. The user needs to provide only those privileges which are necessary for his work. The account used by the system administrator shouldn't be available to the ordinary user.

The modern world the cyber security has huge value. The computer network from the date of her creation was subject to the attacks of malefactors and it seems that the threat of cyber-attacks will only grow in the process of growth of network. But with the necessary level of training on the equipment and experts it is quite possible to control damage and to restore losses from cyber-attacks.

Several useful tips during the work with social networks:

1 Change the password at least once in a month; at the same time, it is desirable to complicate it.

2 You don't go offline, having just closed the page – always do a logout.

3 Be careful with video files, especially, if you don't know that person who has posted this video.

4 Pay attention to suspicious messages, especially if they urge you to follow any link.

5 Do the closed access to the page and photos;

6 Don't place confidential information on «wall», either the home address, or phone;

7 Avoid «friendly» style of communication on social networks, adding as a friend unfamiliar.

### REFERENCES

1 The Number of attacks using exploits for Microsoft Office quadrupled in early 2018 [Electron. Resource.] – 2018. – URL: [https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/2018\\_microsoft-office-exploits](https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/2018_microsoft-office-exploits) (accessed 25.08.2019).

2 CYBERTHREAT [Electron. Resource.] – 2018. – URL: <https://cybermap.kaspersky.com/> (accessed 25.08.2019).

3 Cyber risk: Why cyber security is important [Electron. Resource.] URL: [www.whitecase.com/publications/insight/cyber-risk-why-cyber-security-imp](http://www.whitecase.com/publications/insight/cyber-risk-why-cyber-security-imp) (accessed 25.08.2019).

4 Kupreev, A., Badovska, E., Gutnik, A. DDoS attacks in the first quarter of 2019 [Electron. Resource.] URL: <https://securelist.ru/ddos-report-q1-2019/93890/> (accessed 25.08.2019).

5 Yuri TITOV. Hackers stole from banks almost 2 billion rubles with the help of « letters from the Central Bank.» [Electron. Resource.] URL: <http://www.banki.ru/news/bankpress/?id=8785969> (accessed 25.08.2019).

6 Alexey Gavrilko. Hack the system: high-profile hacker attacks of recent years. [Electron. Resource.] URL: <https://www.rbc.ru/photoreport/27/06/2017/595282159a79471941c3d4ef> (accessed 25.08.2019).

7 Cyber Security Threats and Prevention Methods [Electron. Resource.] URL: <https://mindmajix.com/cyber-security-threats-and-prevention-methods> (accessed 25.08.2019).

8 Gulyaev, A. Six threats 2018. [Electron. Resource.] URL: <https://aptractor.ru/info/articles/shest-kiberugroz-2018-goda.html>

9 Social networks as a threat to information security. The use of programs such as the DLP [Electron. Resource.] URL: [https://vuzlit.ru/312245/sotsialnye\\_seti\\_ugroza\\_informatsionnoy\\_bezопасnosti\\_primenenie\\_programm\\_tipa](https://vuzlit.ru/312245/sotsialnye_seti_ugroza_informatsionnoy_bezопасnosti_primenenie_programm_tipa) (accessed 25.08.2019).

10 Kofanov, M. A., Pletenev, I. A. DEVELOPMENT OF DLP-SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT MOBILE DEVICES ON ANDROID OS [Electron. Resource.] URL: [http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/46450/1/bip\\_2014\\_29.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/46450/1/bip_2014_29.pdf) (accessed 25.08.2019).

Material received on 04.06.20.

Е. К. Макатов<sup>1</sup> [0000-0002-9223-3594], А. У. Актаева<sup>2</sup> [0000-0002-4308-4553], С. И. Хан<sup>3</sup>, Г. Қалман<sup>4</sup>, А. К. Шонашева<sup>5</sup>

**Әлеуметтік желілердің ақпараттық қауіпсіздікке қауіпі ретінде**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Ш. Уәлиханов атындағы

Көкшетау мемлекеттік университеті,

Көкшетау қ., 020000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

Е. К. Макатов<sup>1</sup> [0000-0002-9223-3594], А. У. Актаева<sup>2</sup> [0000-0002-4308-4553], С. И. Хан<sup>3</sup>, Г. Қалман<sup>4</sup>, А. К. Шонашева<sup>5</sup>

**Социальные сети как угроза информационной безопасности**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Кокшетауский государственный университет

имени Ш. Уалиханова,

г. Кокшетау, 020000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Фаламтор желісі мен ақпараттық технологиялар біздің күнделікті өміріміздің ажырамас бөлігі болып келеді, интернет банкінгтан бастап мемлекеттік инфрақұрылымға дейін, сондықтан киберқауіпсіздік қажетті болып табылады.*

*Әдебиетте «әлеуметтік желілер» ұғымының синонимі ретінде «микроблоггинг» ұғымы қолданылады. Әлеуметтік желілер бизнесті дамыту, тауарлар мен қызметтерді жарнамалау, бос уақытты, хобби, жеке қарым-қатынас және ақпарат алмасу қарапайымдылығымен сипатталады, осылайша зиянкестер үшін ашық ақпарат көзі болып табылады. Әдетте, әлеуметтік желіде өз мақсаттарына қол жеткізу үшін зиянкестер алаяқтық схемаларды қолданады, бұл зерттеулермен расталады*

*Жүргізілген талдау нәтижелері ақпараттық қауіпсіздік қатерінің алдын алуға, көп жағдайда бәсекелестік барлау және әлеуметтік инженерия әдістерін пайдаланатын зиянкестердің шабуылдарына қарсы тұруға, таргеттелген ақпараттан қорғау моделін әзірлеуге және оны әлеуметтік желілерге интеграциялау үшін арнайы бағдарламалық қамтамасыз етуді іске асыруға мүмкіндік береді.*

*Все мы живем в мире, который сегодня связан сетью и информационными технологиями, от интернет-банкинга до государственной инфраструктуры и именно поэтому кибербезопасность является необходимостью.*

*В технических изданиях в качестве синонима понятия «социальные сети» также используется понятие «микроблоггинг». Социальные сети характеризуются простотой реализации продвижения бизнеса, распространения рекламы товаров и услуг, досуга, хобби, личного общения и обмена информацией, тем самым являясь открытым источником информации для злоумышленников. Как правило, злоумышленники для достижения своих целей в социальной сети применяют мошеннические схемы, что подтверждается исследованиями*



*Результаты проведенного анализа позволят предотвратить угрозы информационной безопасности, противодействовать атакам злоумышленников, которые зачастую используют методы конкурентной разведки и социальной инженерии за счет применения мер противодействия, разработать модель защиты от таргетированной информации и реализовать специальное программное обеспечение для его интегрирования в социальные сети.*

ГРНТИ 44.29.29

**В. Ю. Мельников<sup>1</sup>, Ю. В. Кибартене<sup>2</sup>, В. В. Кибартас<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>PhD, асоц. профессор, энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., асоц. профессор, энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>s-melnik@yandex.kz; <sup>2</sup>juvk@yandex.kz; <sup>3</sup>vkibartas@yandex.kz

### **СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПУСКОВЫХ СВОЙСТВ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

*В статье приведен анализ пусковых режимов синхронных электродвигателей основных насосных агрегатов нефтеперекачивающих станций. Отмечено, что в процессе пуска возникают просадки напряжения сети более 25 %. Сделан вывод о необходимости ограничения применения прямого пуска синхронных двигателей, который вызывает значительные просадки напряжения питающей сети. Рассмотрены основные возможности для ограничения пускового тока синхронных двигателей, реализующиеся посредством различных способов пуска двигателей: применения пускового реактора; снижения напряжения, подводимого к двигателю при пуске, с применением автотрансформатора, включенного между сетью и двигателем; путем автоматического увеличения возбуждения работающих синхронных двигателей; с помощью синхронизирующих устройств; путем разгона ротора двигателя потоком жидкости насосного агрегата; пуск в ход методом частотного пуска. Полученные решения обеспечивают управление режимами пуска электродвигателями основных насосных агрегатов путем их последовательного управления от одного пускового тиристорного высоковольтного устройства. Приведены схемы силовой части тиристорного пускового устройства.*

*Ключевые слова: синхронный электродвигатель, тиристорное пусковое устройство, пусковые режимы, магистральные насосные агрегаты.*

### ВВЕДЕНИЕ

На основе проведенных в различные периоды эксплуатации нефтеперекачивающих станций (НПС) экспериментальных исследований режимов пуска синхронных двигателей основных насосных агрегатов (НА) НПС с двигателями 2500 кВт выявлено следующее.

Анализ пусковых режимов синхронных двигателей основных НА НПС позволяет отметить следующее. В процессе пуска возникают просадки напряжения сети более 25 % (в отдельных случаях превышает 30 %). Время восстановления напряжения на шинах двигателя до уровня 85 % номинального составляет более 2 секунд. Таким образом, можно сделать вывод о том, что прямой пуск синхронных двигателей вызывает значительные просадки напряжения питающей сети.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Если недопустим прямой пуск для двигателя, механизма или питающей сети, то применяются ограничения тока, основанные на различных возможных способах. Основные возможности для ограничения пускового тока синхронных двигателей, реализующиеся посредством различных способов пуска двигателей в ход, приведены на рисунке 1.

Синхронный двигатель, имеющий пусковую клетку на роторе, может пускаться в ход в качестве короткозамкнутого асинхронного двигателя. Двигатель подключается непосредственно к питающей сети от полного подводимого напряжения. В силу простоты реализации является основным видом пуска для синхронных двигателей насосных агрегатов.

При необходимости снижения напряжения, подводимого к двигателю при пуске, применяется пуск при помощи включенного между питающей сетью и двигателем пускового реактора.

Если асинхронный пуск неявнополюсных синхронных двигателей, особенно с массивным ротором, происходит в более тяжелых условиях, вызывая значительный местный нагрев в поверхностном тонком слое от индуцируемых в массивном роторе токов, для пуска двигателя применяют понижение напряжения с соответствующим увеличением времени пуска.

Для снижения напряжения, подводимого к двигателю при пуске, применяют автотрансформатор, включенный между сетью и двигателем.

Так как при пуске магистральных насосных агрегатов НПС имеют место значительные просадки напряжения питающей сети, обусловленные

действием пусковых токов то целесообразно на период запуска двигателя обеспечить компенсацию действующих просадок напряжения. Этого можно достичь путем автоматического увеличения возбуждения работающих синхронных двигателей. После окончания процесса запуска двигателя возбуждение работающих двигателей восстанавливают до нормального (рабочего) уровня.

Достоинством предложенного технического решения является его простота и отсутствие дополнительного силового оборудования, что обуславливает его стоимостные и массо-габаритные показатели. Существенный недостаток – остающиеся просадки сетевого напряжения при запуске первого двигателя полностью остановленной НПС. При этом будут иметь место просадки напряжения при пуске первого из двигателей полностью остановленной станции.

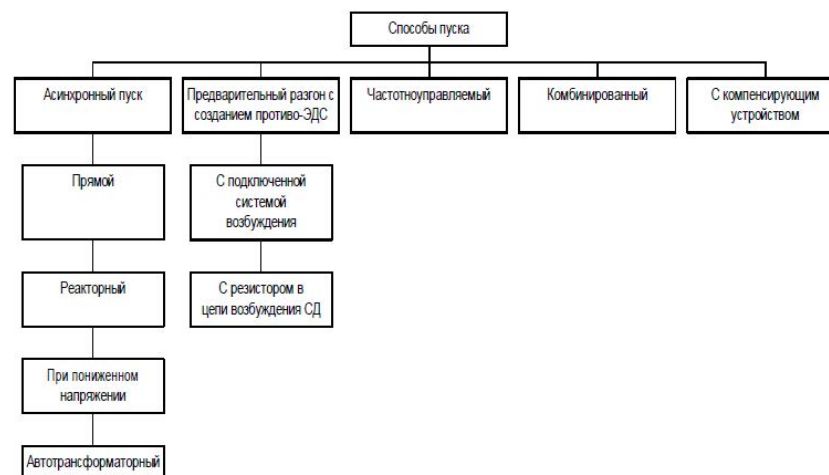


Рисунок 1 – Способы пуска двигателей в ход

СД может включаться в сеть с помощью синхронизирующих устройств такими же способами, как и синхронный генератор. Для этого машина должна иметь на своем валу специальный пусковой двигатель, который мог бы разогнать ее до синхронной скорости, при которой возможно произвести синхронизацию машины с сетью.

Способ пуска СД может быть осуществлен путем разгона ротора двигателя потоком жидкости следующим образом. Осуществляя разгон ротора со стороны насосов (работающего в режиме турбины) до определенной скорости, подают питание на двигатель, и осуществляется

самосинхронизация двигателя с питающей сетью. Этот способ практически устраняет колебания напряжения питающей сети, так как большие пусковые токи отсутствуют. Достоинством указанного способа пуска является то, что для него практически не требуется дополнительного оборудования. Однако, для осуществления указанного способа пуска необходимо: согласование с заводом-изготовителем и с технологией работы насоса в режиме гидромотора; изменение алгоритма и схем запуска синхронных двигателей основных НА, а также схем противоаварийной автоматики, относящейся к пускам и синхронизации двигателей с сетью.

СД может быть пущен в ход методом частотного пуска, когда частота подводимого к нему напряжения плавно изменяется от нуля до номинального значения. При этом двигатель вращается синхронно в течение всего периода пуска. Пуск осуществляется при помощи специальных устройств статического тиристорного преобразователя частоты с специальной системой автоматического регулирования тока возбуждения СД на период пуска.

Основным недостатком частотного пуска синхронных двигателей является значительная стоимость и сложность пусковых устройств. Однако, несмотря на это, частотный способ пуска находит достаточно широкое применение для пуска мощных синхронных двигателей технологических агрегатов. В связи с развитием средств и систем силовой полупроводниковой техники и созданием мощных преобразователей частоты, частотный пуск синхронных двигателей может осуществляться по схеме вентильного двигателя.

Система автоматизированного управления пуском синхронных электродвигателей должна обеспечить: повышение эксплуатационной надежности работы электродвигателей основных НА за счет облегчения пусковых режимов; повышение надежности работы питающих сетей (линий) и коммутационных аппаратов; повышение эксплуатационной устойчивости и надежности основного и вспомогательного электрооборудования, систем автоматики и релейной защиты за счет снижения недопустимых просадок напряжения, обусловленных действием пусковых токов; повышение надежности механического оборудования магистральных насосных агрегатов и запорно-регулирующей арматуры и оборудования за счет повышения плавности пусковых режимов; снижение гидравлических ударов в трубопроводе при пусках электродвигателей; снижение просадок питающего напряжения от действия пусковых токов электродвигателя; увеличение числа допустимых пусков электродвигателя; улучшение управляемости пусковых режимов электродвигателя; увеличение межремонтного периода электродвигателей и насосного оборудования; снижение непроизводительных расходов энергоносителей; рациональное использование оборудования

с учетом, как технологических потребностей, так и графика тарифов на электроэнергию.

В качестве пускового устройства для мощных двигателей применяют различные типы преобразователей.

Непосредственные преобразователи частоты (НПЧ) с естественной коммутацией тиристорov.

Обобщенная схема силовой части высоковольтного тиристорного пускового устройства на основе непосредственного преобразователя частоты с низковольтным вентильным блоком приведена на рисунке 2. Тиристорное пусковое устройство имеет два силовых трансформатора: входной – понижающий и выходной – повышающий. Возможно применение НПЧ с высоковольтным вентильным блоком. В этом случае необходимо использовать высоковольтный вентильный блок с последовательным соединением тиристорov. Схема фазы силовой части вентильного блока приведены на рисунке 3.

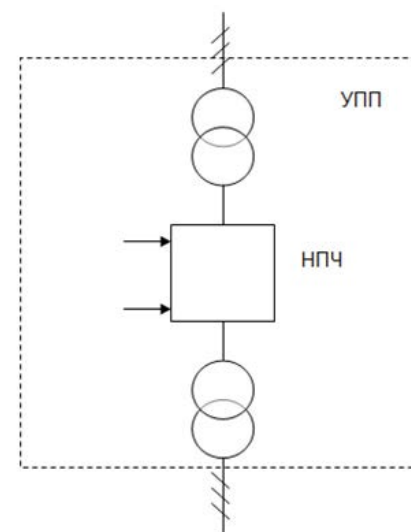


Рисунок 2 – Принципиальная схема силовой части тиристорного пускового устройства на основе низковольтного преобразователя частоты с непосредственной связью

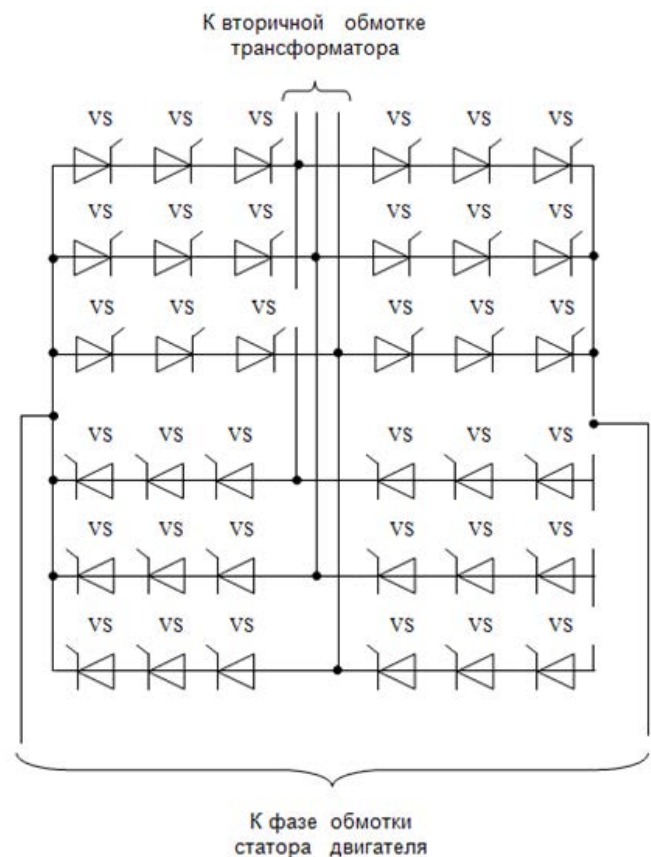


Рисунок 3 – Схема фазы модуля высоковольтного НПЧ

Основной недостаток НПЧ – ограниченная частота на выходе, а также потребление из сети реактивной мощности смещения, связанной с паразитным возрастанием амплитуды основной гармоники потребляемого тока. Тем не менее, они могут быть успешно использованы для реализации пусковых устройств.

Двухзвенные преобразователи частоты также могут быть использованы в схемах высоковольтных пусковых устройств для мощных двигателей. Схема схема силовой части высоковольтного тиристорного пускового устройства на основе низковольтного двухзвенного преобразователя частоты приведена на рисунке 4. Схема имеет два дополнительных силовых трансформатора. Возможна также реализация высоковольтного пускового устройства на

основе высоковольтных вентильных блоков с последовательным соединением тиристорных выпрямителя и инвертора, приведенных на рисунке 5.

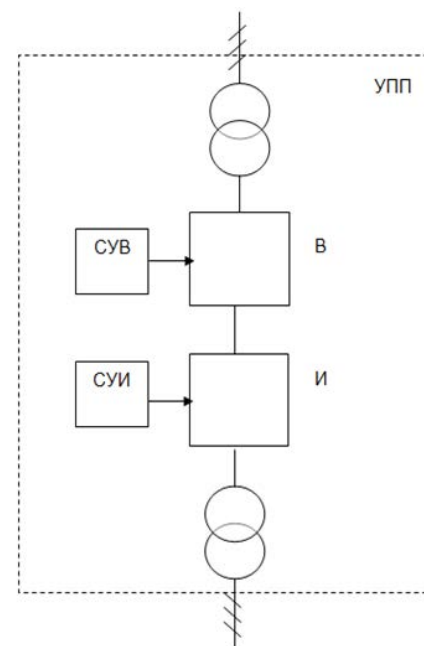


Рисунок 4 – Принципиальная схема силовой части тиристорного пускового устройства на основе низковольтного двухзвенного преобразователя частоты

Для выбора структуры двухзвенного преобразователя частоты могут быть рассмотрены три основных типа преобразователей: «управляемый выпрямитель – автономный инвертор напряжения» (УВ – АИН); «управляемый выпрямитель – автономный инвертор тока» (УВ – АИТ), «неуправляемый выпрямитель – автономный инвертор с ШИМ».

По условиям коммутации АИТ может работать только с активно – емкостной нагрузкой, т.е. при опережающем инвертированном токе, когда между анодом и катодом закрывшегося вентиля в течение некоторого времени (времени выключения) поддерживается отрицательное напряжение, необходимое для восстановления запирающих свойств вентиля. При активно – индуктивной нагрузке баланс реактивной мощности обеспечивается коммутирующими конденсаторами, дополнительно включаемыми в схему ПЧ.

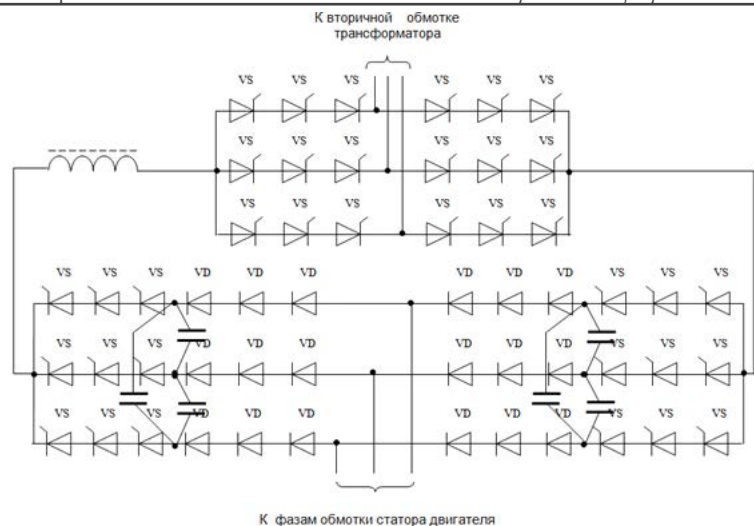


Рисунок 5 – Схема силового модуля высоковольтного ДПЧ

АИН работает, как правило, с активно-индуктивной нагрузкой. При опережающем инвертируемом токе (активно-емкостной нагрузке) возникают недопустимые броски тока в моменты включения вентиляей, в связи с чем возникает необходимость в принятии дополнительных схемных решений, значительно усложняющих силовую часть ПЧ. Следует отметить, что синхронные двигатели проектируются для работы с  $\cos\varphi_N = 0,9$  при опережающем токе и при этом по отношению к сети они являются источниками реактивной мощности или, что равносильно, активно-емкостной нагрузкой. Кроме того, инвертор тока технически реализуется проще инвертора напряжения. Достоинством рассмотренных выше схем преобразователей частоты с управляемыми выпрямителями заключаются в относительной простоте их реализации. Недостатки схем: низкий коэффициент мощности, зависящий от угла регулирования тиристоров УВ; существенный удельный вес высших гармоник в кривой выходного напряжения или тока АИ, что приводит к созданию дополнительных возмущений на систему электропривода при формировании электромагнитных моментов (особенно на низких скоростях двигателя) и повышению потерь в двигателе.

Существенными преимуществами обладают схемы ПЧ с неуправляемыми выпрямителями и АИ с ШИМ, позволяющие получить синусоидальное напряжение или ток на выходе инвертора и тем самым исключить недостатки схем с УВ. Однако эти схемы отличаются значительной сложностью реализации законов управления и усложнением силовой схемы за счет

подключения к каждому силовому тиристорному блоку индивидуальной коммутации.

Сравнивая возможные структуры двухзвенных преобразователей частоты, наиболее оптимальным решением видится использование для плавного пуска электродвигателя насоса двухзвенного преобразователя частоты с управляемым выпрямителем с автономным инвертором тока.

## ВЫВОДЫ

Рассмотрены вопросы улучшения пусковых свойств синхронного электродвигателя для привода основных насосных агрегатов нефтеперекачивающих станций.

В результате анализа известных технических решений, направленных на улучшение пусковых свойств синхронного электродвигателя, а также выполненных исследований и научных разработок, получены новые научные результаты и инженерные решения, позволяющие в наилучшей степени удовлетворить предъявляемым требованиям в отношении управляемого пуска синхронного электродвигателя насосного агрегата, мощностью 2500 кВт напряжением 10 кВ.

Полученные решения обеспечивают управление режимами пуска всеми четырьмя электродвигателями основных насосных агрегатов путем их последовательного управления от одного пускового тиристорного высоковольтного устройства. Приведены схемы силовой части тиристорного пускового устройства.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Рекомендации по применению регулируемого электропривода в системах автоматического управления водопроводных и канализационных установок. – М. : 1987.

2 Карасев, Б. В. Насосные и воздухоудовные станции. – Минск : Вышэйша школа, 1990.

3 Попкович, Г. С., Кузьмин, А. А. Автоматизация систем водоснабжения и канализации. – М. : Стройиздат, 1983.

4 Аршеневский, Н. Н., Поспелов, Б. Б. Переходные процессы в крупных насосных станциях. – М. : Энергия, 1977.

5 Аракелян, А. К., Ларионов, В. Н., Суптель, А. А. Современное состояние и перспективы использования регулируемых электроприводов с вентильным двигателем для мощных питательных насосов ТЭС и АЭС. В сб. Автоматизированный электропривод / Под общ. ред. Н. Ф. Ильинского, М. Г. Юнькова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – С. 294–298.

6 **Ильинский, Н. Ф.** Опыт и перспективы применения регулируемого электропривода насосов и вентиляторов / В сб. Тезисы докладов I Международной (XII Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. – Санкт-Петербург, 1995. – С. 12.

7 **Вейнгер, А. М.** Регулируемый синхронный электропривод. – М. : ЭАИ, 1985. – 224 с.

8 Патент РК KZ (13) А (11) 10361 Электропривод переменного тока / Национальное патентное ведомство РК / В. Ю. Мельников, В. В. Кибартас, Ю. В. Кибартене, Е. В. Зигангирова.

9 **Кибартас, В. В., Кибартене, Ю. В., Кабылдина, А. Ш.** Полупроводниковые устройства мягкого пуска синхронных электродвигателей агрегатов средней и большой мощностей / Вестник ПГУ Энергетическая серия № 2, 2013. – С. 143–146.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*В. Ю. Мельников<sup>1</sup>, Ю. В. Кибартене<sup>2</sup>, В. В. Кибартас<sup>3</sup>*

**Мұнай магистральды мұнай құбырларының негізгі сорғы агрегаттарының синхронды электр қозғалтқыштарының бастапқы қасиеттерін қамтамасыз ету құралдары мен жүйелері**

<sup>1</sup>Инженерлік-технологиялық факультеті,  
Инновациялық Еуразия Университеті,  
Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы;  
<sup>2,3</sup>Энергетикалық факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*V. Yu. Melnikov<sup>1</sup>, Yu. V. Kibartene<sup>2</sup>, V. V. Kibartas<sup>3</sup>*

**Means and systems for ensuring the starting properties of synchronous electric motors of the main pumping units of oil trunk pipelines**

<sup>1</sup>Faculty of Engineering and Technology,  
Innovative University of Eurasia,  
Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan;  
<sup>2,3</sup>Faculty of Energy Engineering,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада мұнай айдайтын станциялардың негізгі сорғы агрегаттарының синхронды электр қозғалтқыштарының іске қосу жағдайларына талдау жасалады. Іске қосу кезінде кернеудің 25 %-дан астам төмендеуі орын алатындығы атап өтілді. Синхронды қозғалтқыштарды тікелей іске қосуды шектеу керек, бұл жеткізу желісіндегі кернеудің айтарлықтай төмендеуін тудырады. Синхронды қозғалтқыштардың іске қосу тогын шектеу үшін негізгі мүмкіндіктер қарастырылады, олар іске қосу қозғалтқыштарының әртүрлі әдістері арқылы жүзеге асырылады: іске қосу реакторын қолдану; электр желісі мен қозғалтқыш арасында қосылған автотрансформаторды қолдана отырып, іске қосу кезінде қозғалтқышқа берілетін кернеуді азайту; синхронды қозғалтқыштардың қозуын автоматты түрде жоғарылату арқылы; үндестіру құрылғыларын қолдану; сорғы қондырғысының сұйықтық ағынымен қозғалтқыштың роторын жылыдамдату арқылы жиілікті іске қосу әдісімен іске қосу. Алынған ерітінділер негізгі сорғы қондырғыларының электр қозғалтқыштарының іске қосу режимдерін бір тиристорлық жоғары вольтты қондырғыдан бірізді басқару арқылы басқаруды қамтамасыз етеді. Тиристордың іске қосу құрылғысының қуат бөлігінің схемалары келтірілген.*

*The article provides an analysis of the starting conditions of synchronous electric motors of the main pumping units of oil pumping stations. It is noted that during the start-up process, voltage drops of more than 25 % occur. It is concluded that it is necessary to limit the use of direct start-up of synchronous motors, which causes significant voltage drops in the supply network. The main possibilities for limiting the starting current of synchronous motors, which are realized through various methods of starting engines, are considered: using a starting reactor; reducing the voltage supplied to the engine during start-up, using an autotransformer connected between the mains and the motor; by automatically increasing the excitation of running synchronous motors; using synchronization devices; by accelerating the rotor of the engine by the fluid flow of the pump unit launching by frequency start method. The obtained solutions provide control of the starting modes by the electric motors of the main pumping units by their sequential control from one starting thyristor high-voltage device. Schemes of the power part of the thyristor starting device are given.*

**А. Д. Мехтиев<sup>1</sup>, В. В. Югай<sup>2</sup>, А. Д. Алькина<sup>3</sup>,  
У. С. Есенжолов<sup>4</sup>, Е. Г. Нешина<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>доктор PhD, зав. кафедрой, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>магистр, ст. преподаватель, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>магистр, ст. преподаватель, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистр, аспирант, Томский политехнический университет, г. Томск, 634014, Российская Федерация

e-mail: <sup>1</sup>barton.kz@mail.ru; <sup>2</sup>slawa\_v@mail.ru; <sup>3</sup>alika\_1308@mail.ru;

<sup>4</sup>newneil@mail.ru; <sup>5</sup>1\_neg@mail.ru

## **ДВИГАТЕЛЬ С ВНЕШНИМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ПРИВОДА ПОРШНЕВОГО НАСОСА СИСТЕМ ОРОШЕНИЯ**

*В данной статье представлена идея использования теплового двигателя с внешним подводом теплоты, работающего по циклу Стирлинга, для орошения посевных земель. Авторами представлен анализ современного состояния электрических сетей сельских районов Казахстана. Разработанный двигатель способен работать практически на любом виде топлива, в том числе используя солнечную энергию для нагрева рабочего тела. Подробно рассмотрена конструкция солнечного насоса для перекачивания воды и орошения, основанного на принципе двигателя Стирлинга. Установлена зависимость повышения вырабатываемой мощности генератором при повышении температуры нагревателя и понижении температуры охладителя. Представлены основы создания компьютерной программы для автоматизированного расчета на основе Microsoft Office Excel, которая позволяет моделировать*

*основные параметры двигателя с внешним подводом теплоты, например, вырабатываемую мощность и давление рабочего тела, при определенных геометрических параметрах рабочего поршня и вытеснителя.*

*Ключевые слова: двигатель с подводом теплоты, солнечное излучение, электрическая мощность, орошение, насос.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема эффективного энергоснабжения потребителей сельской местности решена не в полном объеме. Если в районных центрах электроснабжение налажено, то для удаленных потребителей не все вопросы решены. Чем дальше потребитель находится от тепловой электростанции и городских сетей, тем дороже для него стоимость электроэнергии. Порядка 300 малых сельских сверх малых населенных пунктов, работающих в сфере животноводства, вообще не имеют централизованного энергообеспечения. В данной статье предлагается частично решить проблему орошения посевных земель, когда приходится использовать насосы с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), что многократно повышает стоимость выращенной сельхоз продукции. В настоящий момент для полива овощей, выращиваемых на полях и в теплицах, используется насос с ДВС, но их использование является весьма затратным, так как требует значительных на топливо, которое приходится доставлять на длительные расстояния. Высокая стоимость бензина и дизельного топлива закладывается на себестоимость сельхозпродукции, что в итоге сдерживает покупательскую активность на рынке и снижает темпы роста сельскохозяйственной отрасли. Соответственно, нужно искать пути решения проблемы, и это можно сделать за счет использования теплового двигателя с внешним подводом теплоты (ДВПТ), работающего по циклу Стирлинга [1–3], способного приводить в действие поливочный насос системы орошения полей. Он отличается способностью работать практически на любом виде топлива, в том числе используя солнечную энергию для нагрева рабочего тела.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Опираясь на известные теоретические сведения и практические результаты [3–10] был разработан насос для перекачивания воды с тепловым двигателем, способным работать, используя энергию солнечного излучения. Особенно данный насос может быть востребован в южных регионах Казахстана, где уровень солнечной радиации излучения достигает до 1900–2000 кВт/м<sup>2</sup> в год, при этом доля ясных часов в год около 2200÷3000. Рабочее тело находится в замкнутом объеме рабочего цилиндра и совершает

работу, перемещая поршень. Для его эффективной работы необходима разница температур между нагревателем и охладителем. В качестве прототипа использована известная конструкция низкотемпературного двигателя Стирлинга, его отличительной особенностью является использования более значительного по диаметру вытеснителя, что позволяет ему работать при температуре нагревателя от 70 до 150°C (рисунок 1). Частота вращения маховика до 500 оборотов в минуту, чем больше разница между температурой зависимости рабочего тела в зоне нагрева и охлаждения, тем выше его эффективность, число оборотов и мощность [1]. Его основные конструктивные части использованы для создания лабораторного образца солнечного насоса, в котором применены все известные принципы ДС типа «Гамма» [2]. В прототипе есть ряд отличий, например, отсутствует шток для синхронизации движения вытеснителя, использованы упругие элементы и постоянные магниты. Основной идеей является создание насоса для перекачивания воды, имеющего простую конструкцию и использующего солнечную энергию.

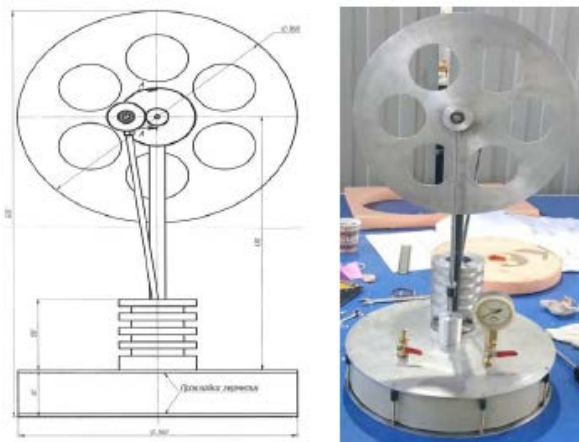


Рисунок 1 – Прототип теплового двигателя насоса

Установлена зависимость повышения вырабатываемой мощности генератором при повышении температуры нагревателя и понижении температуры охладителя, соответственно необходимо обеспечить хорошее охлаждение ДВПТ и съём тепла в системе охлаждения. Расчеты показали, что при той же мощности, что и ДВС для ДВПТ понадобится радиатор охлаждения в 4–5 раз больший по площади, так как разница температур между нагревателем и охладителем в значительной мере влияют на КПД.

На 1 Вт выработанной электрической энергии ДВПТ способен отдать 5 Вт тепловой. Проведены также замеры выходной мощности электрического генератора постоянного тока, на рисунке 2 и 3 приведены графики зависимостей вырабатываемой мощности генератором от числа его оборотов и давления рабочего тела в цилиндре.

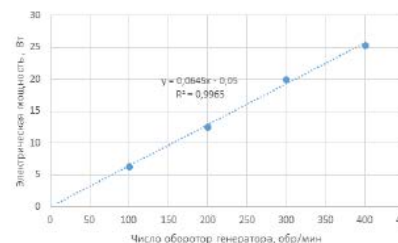


Рисунок 2 – График зависимостей вырабатываемой мощности генератора от числа его оборотов

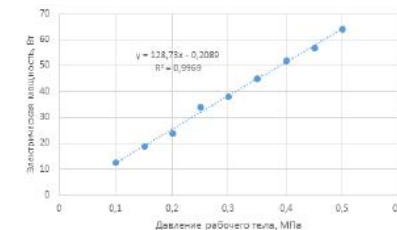


Рисунок 3 – График зависимостей вырабатываемой мощности генератора от величины давления рабочего тела

Результаты исследований прототипа и использование известных теоретических сведений позволили создать автоматизированную систему расчета и моделирования параметров ДВПТ, работающих по принципу Стирлинга, который будет использован для привода насоса, а также в будущем позволит создавать различные по конструкции и эффективности образцы данных типов двигателей. Используя известный математический аппарат, была создана компьютерная программа для автоматизированного расчета на основе программы Microsoft Office Excel, позволяющая оперативно вычислить необходимые параметры. Автоматизированный расчет использует основные законы термодинамики идеального газа и поэтому имеет ряд установленных нами допущений.

Процесс носит изотермический характер. В качестве рабочего тела используется идеальный газ. Рабочее тело в холодной части (в холодильнике) и в горячей части (в нагревателе) одинаково по температуре во всех областях. Температура нагревателя и холодильника равная, но не учитывается процесс теплопередачи через их стенки. Двигатель является не герметичным и связан с атмосферным давлением, поэтому КПД данной модели около 10–15 %. Не учитываются адиабатные процессы, которые в данных условиях практически не влияют на выходную мощность ДВПТ. Важным моментом достижения реальности и приближение математической модели к реальному двигателю ДВПТ является учет мертвого объема газа (рабочего тела). Программа



способна рассчитать основные выходные параметры: работа за цикл (Дж), мощность (Вт) при определенных оборотах в минуту, значение давления в системе (Атм). ДВПТ обеспечивает максимальный момент уже практически минимальных оборотах около 10 Обр/с, что не в состоянии обеспечить самый передовой дизельный ДВС.

Используемый метод расчета аналогичен методу Шмидта, но ему не нужно определять множество параметров, необходимых для аналитического решения интегралов. Потери давления в теплообменниках малы, если двигатель не работает слишком быстро. Используем известное уравнение идеального газа [1–4]:

$$PV = mRT \tag{1}$$

Двигатель делится на 3 объема: холодный объем, в котором силовой поршень перемещается который содержит охладитель (холодильник), объем содержащий вытеснитель (или второй поршень для двигателя альфа-типа) и объем регенератора (некий экономер по классической теории [1]). Принимаем условие, что газ в горячем и холодном объеме поддерживается при постоянных температурах:  $T_b$  (низкий = «basse» на французском) и  $T_h$  (высокий). Отсюда и название изотермического анализа.

Температура газа в регенераторе равна эффективной средней температуре:

$$T_{mr} = \frac{(T_h - T_b)}{\ln\left(\frac{T_h}{T_b}\right)} \tag{2}$$

где  $(T_h/T_b)$  – Неперовский логарифм отношения.

Эта формула рассчитана при условии, что температура в регенераторе линейно движется от  $T_b$  до  $T_h$ . Плотность газа варьируется по всему регенератору.

Если мы разделим пространство на тонкие срезы, средняя температура будет равна

$$T_{mr} = \frac{(T_1 \cdot m_1 + T_2 \cdot m_2 + \dots + T_n \cdot m_n)}{(m_1 + m_2 + \dots + m_n)} \tag{3}$$

где  $m_1, m_2, \dots$  et  $T_1, T_2$  массы и температуры газа последовательных срезов.

Для оценки эффекта можно использовать оценочную величину этой разности температур.

По закону идеального газа мы можем написать все три объема:

$$\begin{aligned} PV_h &= m_h RT_h, \\ PV_c &= m_c RT_{c\text{ст}}, \\ PV_r &= m_r R(T_{mr} + dT), \end{aligned}$$

где  $dT$  разница температур в регенераторе по сравнению с теоретической средней.

Итоговая масса газа:

$$m = P_o \frac{V_{\max}}{(R \cdot T_o)} \tag{4}$$

где  $P_o, V_{\max}$  и  $T_o$  давление, объем и температура в момент наполнение газом.

Результаты моделирования прототипа в программе приведены на рисунке 4 и 5. Программа позволяет моделировать основные параметры ДВПТ, например вырабатываемую мощность и давление рабочего тела, при определенных геометрических параметрах рабочего поршня и вытеснителя. Промоделирован ДВПТ, приведенный на рисунке 1, температура нагревателя принималась не более 100°C, а охладителя до 25°C. Температура воздуха в помещении где проводились испытания лабораторного образца 24°C. Объемы: вытеснителя 3769 см<sup>3</sup>; рабочего поршня 196 см<sup>3</sup>. Регенератор не использовался [5–6], так как конструкция сильно упрощена. Число оборотов маховика 200 обр/мин, мертвый объем охладителя в пределах 100 см<sup>3</sup>, разность фазового угла для вытеснителя 90°. В качестве рабочего тела использовался воздух с начальным давлением 0,1 МПа.

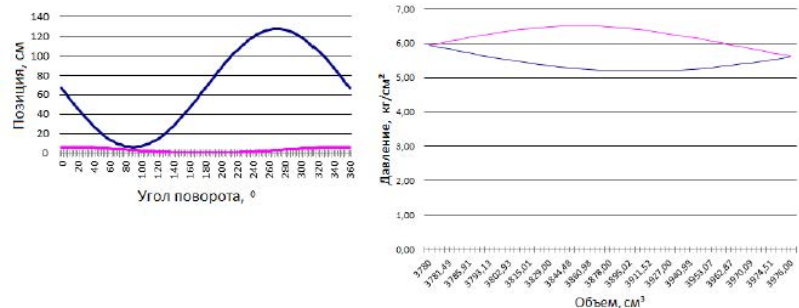


Рисунок 4 – Графики зависимости позиции перемещения поршня от угла поворота кривошипно-шатунного механизма

Рисунок 5 – График зависимостей PV

Основные результаты теоретических и практических исследований, проведенных приведены в статьях [5–13], где сосредоточены новые сведения о данных тепловых двигателях. Опытный образец ДВПТ был изготовлен и испытан в Карагандинском государственном техническом университете в рамках проекта «Микро тепловая электростанция когерационного типа с рекуперацией тепла» (№ АР05131751).

На рисунке 6, приведена конструкция солнечного насоса для перекачивания воды и орошения, основанного на принципе двигателя Стирлинга. Источником нагрева рабочего тела во внутренней полости ДС является Солнце 1, солнечная радиация 2 нагревает поверхность нагревателя 3. В качестве рабочего тела используется воздух, но его эффективность не высока, более лучший вариант показали испытания прототипа, заправленного гелием, это позволяет увеличить внутреннее давление и, соответственно, его мощность в 3 раза. Тепловой поток 2 должен равномерно распределяться по внешней стенке нагревателя 3, при этом его поверхность окрашивается в черный цвет, для повышения температуры нагрева необходимо использовать концентратор солнечной энергии. Важным элементом является вытеснитель 4, он в отличие от классической конструкции не имеет штока, его заменяют постоянные магниты 5, которые обеспечивают перемещение в сторону рабочего поршня, а его движение назад обеспечивают упругие элементы 6. Это более современная и упрощенная конструкция, позволяющая отказаться от массивного моховика [1–3]. Вытеснитель необходим для перемещения рабочего тела из зоны нагрева 2 в область охлаждения 9. Зона охладителя 7 отделяется от зоны нагревателя перегородкой 8. Охлаждение рабочего тела обеспечивается за счет циркуляции перекачиваемой жидкости по

трубопроводам 10. Жидкость перекачивается из емкости 16 в емкость 17. Вода обеспечивает хорошее охлаждение двигателя, и его эффективность будет зависеть от разницы температуры между внешней перегородкой 3 и внутренней перегородкой 8. Соответственно, данный тип теплового двигателя работает по циклу Стирлинга, который может приближаться к циклу Карно, но на практике это не достижимо, испытанный прототип достигал КПД до 3 %. Для повышения его КПД необходимо внести ряд изменений в его конструкцию, во-первых использовать регенератор, во-вторых повысить давление во внутренней полости до нескольких атмосфер, в-третьих использовать вместо воздуха гелий, тогда КПД можно повысить до 12 %, для достижения большей эффективности придется существенно повышать до 20 МПа, что существенно усложняет конструкцию. Что позволит оказать конкуренцию ДВС переносной насосной установки системы орошения и полива.

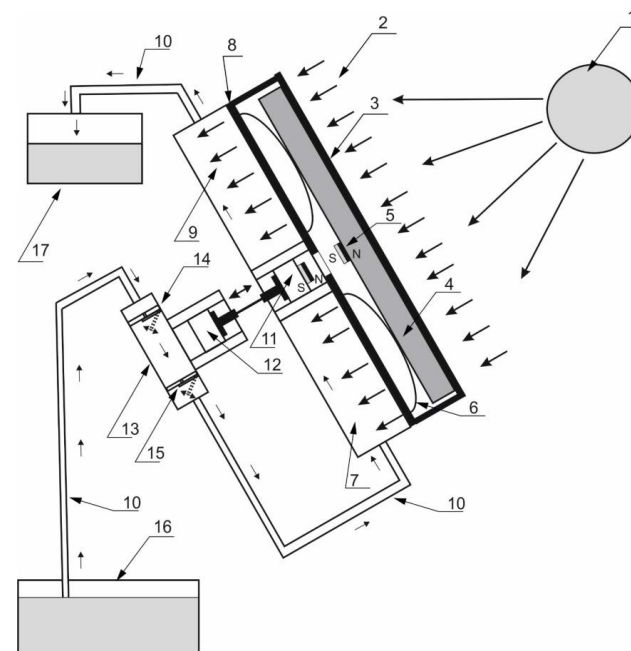


Рисунок 6 – Конструкция солнечного насоса для перекачивания воды, основанного на принципе двигателя Стирлинга

Важным элементом является рабочий поршень 11 с цилиндром, в нашем случае выполненный из графита. Графитовый поршень позволяет обеспечить

хорошее уплотнение и снизить потери мощности на трение, а они могут быть значительные в несколько единиц и даже десятков процентов на один элемент трения. Одна из основных проблем ДС это работа уплотнений в режиме сухого трения без смазки и в конструкции использовалось данное техническое решение. Рабочий поршень 11 соединен при помощи штока с поршнем насоса 12, который обеспечивает перекачивание жидкости. В корпусе поршневого насоса 13 находится впускной клапан 14 и выпускной клапан 15. Движение поршней 11 и 12 показано стрелкой.

#### ВЫВОДЫ

Полученные новые результаты исследований низкотемпературных двигателей, работающих по циклу Стирлинга, позволили создать автоматизированную систему расчета и моделирования параметров двигателя с внешним подводом теплоты, как перспективное направление развития возобновляемых источников энергии, использующих преобразования солнечной радиации. Разработанные теоретические основы позволяют создать опытные образцы эффективных тепловых двигателей для привода поршневого насоса систем орошения агротехнического сектора Республики Казахстан.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Уокер, Г.** Двигатели Стирлинга: пер. с англ. – 1-е изд. – М. : Мир. 1985. – 408 с.

2 **Ридер, Г.** Двигатели Стирлинга: пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Мир. 1986. – 464 с.

3 **Бобылев, А. В.** Математическая модель свободнопоршневого двигателя Стирлинга // Техника. Технологии. Инженерия. – 2017. – № 1. – С. 22–27.

4 **Веревкин, М. Г.** Метод комплексного теплового и конструкторского расчета термомеханического генератора // Известия ВУЗов. Серия «Машиностроение». – 2004. – № 10. – С. 33–37.

5 **Афанасьев, В. А.** Оценка КПД криогенного двигателя Стирлинга, входящего в состав газификатора сжиженного природного газа системы питания газовым потоком судового двигателя / Афанасьев В. А., Цейтлин А. М., Поляков П. Б., Гавлович Р. Ю. // Вестник АГТУ. Серия «Морская техника и технология». – 2013. – № 1. – С. 78–83.

6 **Горожанкин, С. А., Горожанкин, С. А., Савенков, Н. В., Чухаркин, А. В.** Комбинированные газотурбинные установки с двигателями Стирлинга // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. – 2015. – № 2(219). – С. 57–66.

7 **Ильин, Р. А.** Эффективность использования двигателей Стирлинга в составе газо-газовых теплоэнергетических установок // Вестник АГТУ 2008 г. – 46. № 5. – С. 136–139.

8 **Афанасьев, В. А., Цейтлин, А. М., Поляков, П. Б., Гавлович, Р. Ю.** Оценка КПД криогенного двигателя Стирлинга, входящего в состав газификатора сжиженного природного газа системы питания газовым потоком судового двигателя // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. № 1. – 2013. – С. 78–83.

9 **Горожанкин, С. А., Савенков, Н. В., Чухаркин, А. В.** Комбинированные газотурбинные установки с двигателями Стирлинга // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. – 2015. – Т.219. № 2. – С. 57–66.

10 **Жаукешов, А. М.** К выбору компонентов солнечной электростанции с двигателем Стирлинга // Вестник КазНУ. Серия физическая. 2014. – Т. 51. № 4. – С. 85–89.

11 **Мехтиев, А. Д., Эйрих, В. И., Югай, В. В., Рахимберлинова, Ж. Б., Бузяков, Р. Р.** Мини-ТЭЦ и миниэлектростанции на основе двигателя Стирлинга для энергообеспечения жилых и промышленных объектов // Международный научный журнал «Актуальные проблемы современности» – Караганда : Болашақ-Баспа. 2014. – Т. 5. – № 3. – С. 94–97.

12 **Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Алькина, А. Д., Калиаскаров, Н. Б., Есенжолов, У. С.** Многотопливная микротепловая электростанция мощностью 1-10 кВт для удаленных объектов сельской местности и фермерских хозяйств. Вестник Южно-уральского государственного университета. СЕРИЯ «ЭНЕРГЕТИКА», Т. 18, № 2, 2018. – С. 62–71.

13 **Мехтиев, А. Д., Югай, В. В., Калиаскаров, Н. Б., Алькина, А. Д., Турдыбеков, Д. М.** Использование двигателя Стирлинга для когенерационной тепловой электростанции сверхмалой мощности с возможностью использования тепловых потерь металлургического производства. Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). – 2018. – № 3 (98). – С. 186–195.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

А. Д. Мехтиев<sup>1</sup>, В. В. Югай<sup>2</sup>, А. Д. Алькина<sup>3</sup>, У. С. Есенжолов<sup>4</sup>,  
Е. Г. Нешина<sup>5</sup>

**Суландыру жүйелерінің поршеньді сорғысының жетегіне арналған  
сыртқы жылулығы бар қозғалтқыш**

<sup>1,2,3,4</sup>Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті,  
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,  
Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы;  
<sup>5</sup>Томск политехникалық университеті,  
Томск қ., 634014, Ресей Федерациясы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

A. D. Mekhtiyev<sup>1</sup>, V. V. Yugay<sup>2</sup>, A. D. Alkina<sup>3</sup>, U. S. Yessenzholov<sup>4</sup>,  
Y. G. Neshina<sup>5</sup>

**External heat supply engine for driving piston pump irrigation systems**

<sup>1,2,3,4</sup>Faculty of Energy, Automation and Telecommunications,  
Karaganda State Technical University,  
Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan;  
<sup>5</sup>Tomsk Polytechnic University,  
Tomsk, 634014, Russian Federation.  
Material received on 04.06.20.

*Аталмыш мақалада ұсынылған идея пайдалану жылу қозғалтқыштың сыртқы көздері жылу бойынша жұмыс істейтін Стирлинг циклі үшін суару егістік жерлер. Авторлар Қазақстанның ауылдық аудандарының электр желілерінің қазіргі жай-күйіне талдау жасады. Өзірленген қозғалтқыш жұмыс денесін қыздыру үшін күн энергиясын пайдалана отырып, кез келген отын түрінде жұмыс істей алады. Стирлинг қозғалтқышының принципіне негізделген суды айдауға және суаруға арналған күн сорғысының құрылымы егжей-тегжейлі қарастырылған. Жылытқыштың температурасын көтеру және салқындатқыштың температурасын төмендету кезінде генератор өндіретін қуаттың жоғарылауына тәуелділік анықталды. Мысалы, жұмыс поршенінің және ығыстырғыштың белгілі геометриялық параметрлерінде жұмыс денесінің шығарылатын қуаты мен қысымын сыртқы жылулықпен қозғалтқыштың негізгі параметрлерін модельдеуге мүмкіндік беретін Microsoft Office Excel негізінде автоматтандырылған есептеу үшін компьютерлік бағдарламаны құру негіздері ұсынылған.*

*This article presents the idea of using a Stirling cycle heat engine with an external heat supply for irrigation of cultivated land. The authors presented an analysis of the current state of electric networks in rural areas of Kazakhstan. The developed engine is capable of working on almost any type of fuel, including using solar energy to heat the working fluid. The design of the solar pump for pumping water and irrigation, based on the principle of the Stirling engine, is considered in detail. The dependence of increasing the generated power was established with increasing temperature of the heater and lowering the temperature of the cooler. The basics of creating a computer program for automated calculation based on Microsoft Office Excel are presented. The program allows you to simulate the basic parameters of an engine with an external heat supply, for example, the generated power and pressure of the working fluid, with certain geometric parameters of the working piston and displacer.*

**A. T. Mukanov<sup>1</sup>, R. A. Amriev<sup>2</sup>, M. A. Yelubay<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Master of science, Faculty of Chemistry and Natural Science, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Doctor PhD, Professor of Chemical Science, Faculty of Chemistry and Natural Science, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Doctor PhD, Candidate of Chemical Science, Faculty of Chemistry and Natural Science, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

e-mail: <sup>1</sup>abai990@mail.ru; madik\_chimik@mail.ru

## **THE ROLE OF LEAN SIX SIGMA APPLICATION ON OPERATIONAL EFFECTIVENESS OF VDU UNIT POOCR CASE STUDY OVERVIEW**

*In this article implementation of Lean Six Sigma on Pavlodar petrochemical refinery was overviewed. The subject of interest was Vacuum Distillation Unit, where the amount of reduced torch oil consumption on the technological furnace has lead to the financial profit of 9 million tenge. This particular case of successful implementation of Lean Six Sigma concept on the VDU resulted in wide spread of Lean Six Sigma on other technological units of the refinery.*

*Keywords: Pavlodar oil-chemistry refinery (POCR), Lean Six Sigma, Vacuum distillation unit (VDU), Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC), Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers (SIPOC).*

### INTRODUCTION

The extensive modernization of Pavlodar Oil Chemistry Refinery (POCR) from 2014–2017 has lead to the increased productivity and improved quality of releasing products. This was obtained not only through modernization of major technological units such as FCC, Catalytic Reforming, Catalytic Hydrotreating units of naphtha, diesel and gas oil but also through integration of the most efficient waste eliminating strategy Lean Six Sigma (LSS) [1, 2]. The philosophy LSS was first introduced in Japan by Toyota Motor Corporation in 1930's. Since that time the concept was growing and now it focuses on elimination of 9 types of wastes such as defects, overproduction, transportation, waiting, inventory, motion, overprocessing, underutilized employees, behavior waste [1].

In this article case study of implementation of Lean Six Sigma on POOCR was overviewed. This is: «Optimization of torch oil consumption by VDU furnace». In the this case through deep statistical analysis the solution was found to diminish the amount of torch oil burnt in the furnace P-601/2 of the Vacuum Distillation Unit. The general benefit of which estimated in 9 million tenge within 2 month [1].

### MAIN PART METHODOLOGY

Implementation of Lean Six Sigma methodology in the industry proceeds through collaborative team work of the specialists familiar with the process. Each project starts with classical way for LSS projects realization DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). DMAIC is a strictly structured and planed algorithm of steps that assists manager to finish the project with high degree of success [2–5].

#### Step 1 – Define

Improvements start with identification of the «bottlenecks» in the business process which results in constant pain for the customer. Customer sets up deadline and goals that have to be achieved. However, in order to resolve existing problem and bring improvements there should be reliable and countable data [3-8].

#### Step 2 – Measure

The team of the project along with the team leader starts to gather information and proceeds to the measurement of the available data in order to identify current process situation. In most cases graphical tools are utilized to see the problem [3–8].

#### Step 3 – Analyze

In this step the system is analyzed and the data are narrowed in order to find the most influential factors that reduce the effectiveness of the system. Utilizing statistical tools test hypothesis is performed and the gap between desired goal and current situation identified [3–8].

#### Step 4 – Improve

Through scrupulous brainstorming the team of the project finds out a new way to resolve existing problem or to decrease defects. Additionally, the most important activity is to convince the customer that improvement is real and will not bring any worse damage to the system [3–8].

#### Step 5 – Control

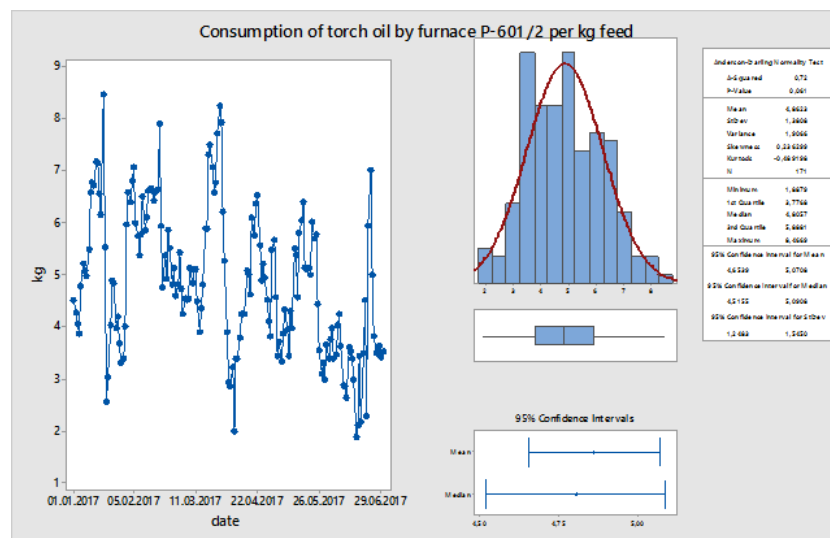
On this stage obtained results are analyzed and monitored in order to eliminate emerging deviations. If necessary the system is corrected and stabilized with the use of statistical tools [3–9].

Study cases: Results

Holistic «Lean Six Sigma» approach have proved reliability and demonstrated its successful application on the POOCR process. However, only one case study will be overviewed in this write up.

Case study

On the period from January to June 2017 the average daily consumption of torch oil by the furnace P-601/2 of the VDU was 4.86 kg per kg feed (see picture 1) [1].



Picture 1 – Consumption of torch oil by furnace P-601/2 per kg feed [1]

From the picture 1 it is clear that average daily consumption of torch oil by furnace P-601/2 was 4,86 kg per kg feed [1]. However, in terms of energy economy maximization the decision was made to reduce consumption of torch oil by 10 % (4,3 kg per kg feed) with no or little fiscal allocation. In order to cope with this task special industrial team was assigned.

In strict accordance with DMAIC five phases were applied to solve the problem. In the Define phase deadline, defects and metrics, main participants of the project and anticipating financial benefit were found. General anticipating effect was 39 526 983 tg per year [1]. Additionally such graphical tools as «Time series plot», «SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers)», «Summary report» were utilized.

According to SIPOC:

The suppliers: Pavlodar Oil Chemistry Refinery (POCR).

The inputs: torch oil and nebulizing low pressure steam.

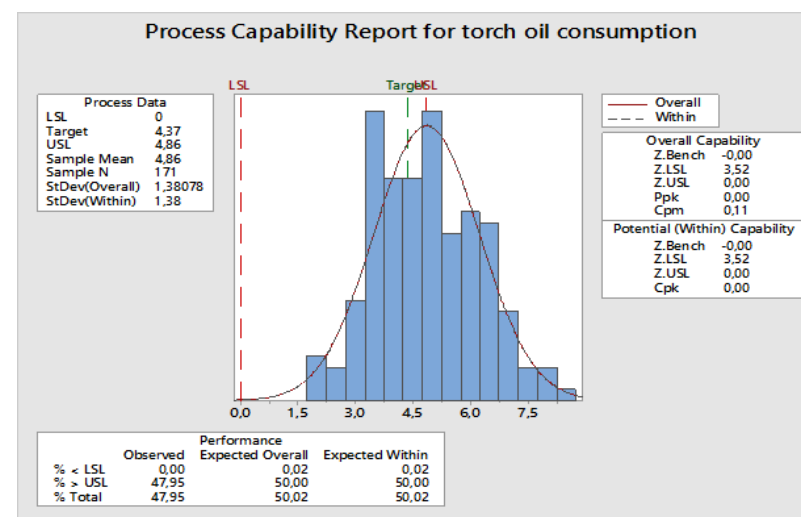
The Process: preparation and torch oil consumption by furnace P-601/2.

The outputs: vaporized feed that goes to the main VDU column.

Customers: Pavlodar Oil Chemistry Refinery (POCR).

In the measure phase, the team of the project concentrated on the examination of measurement gauges (to determine whether the measurement procedure adequate or not) and on the determination of defects per million opportunities DPMO (current sigma level of the process).

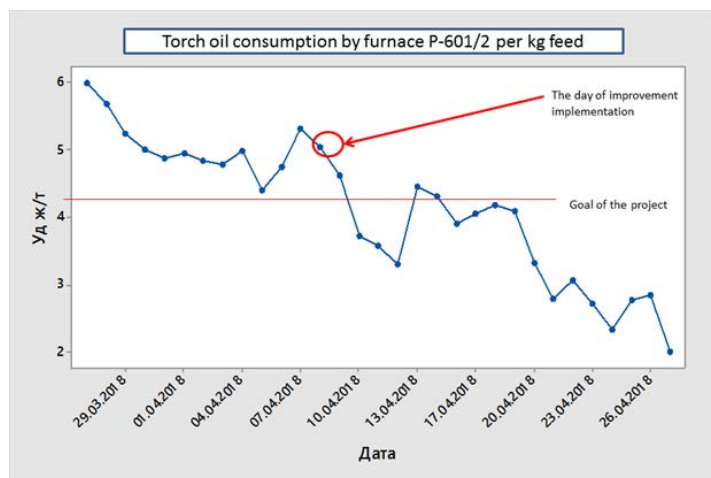
Accuracy of the flow gauges were calculated by formula which was high and the measured variation of the system were small (below 10 %). This allowed to consider that measurement system is reliable and was accepted for the following research. Moreover, capability analysis showed that current sigma level of the process was 0 (See picture 2) [1].



Picture 2 – Process capability report for the consumption of torch oil by furnace P-601/2 [1]

However, after implementation of the improvement on the «IMPROVE» stage the general sigma of the process has improved dramatically. The idea was to increase general temperature of the feed after the block of the heat exchangers and before the furnace from 260°C to 275°C. This has become possible to perform only after involvement of additional high temperature feed from the bottom

of the column of ADU unit. Time series plot of the process clearly depicts the improvement (see picture 3) [1].



Picture 3 – Torch oil consumption by furnace after implementation of improvement [1]

According to picture 3 it is obvious that general consumption of torch oil has declined sufficiently and reached the point of 2,15 kg per kg feed. This improvement resulted in 9 million tenge reduction on operational expenditures.

#### CONCLUSION

Lean Six Sigma implementation was successful on the VDU unit due to the fact that it has helped to reduce operational expenditures on 9 million tenge. Collaborative work of the team of specialist on VDU has lead to the enrolment of other teams into new projects around POCR. This in general motivated and has proved high management staff of the POCR and KazMunayGas company that Lean Six Sigma approach is reliable and powerful tool to improve «bottlenecks» of the processes and eliminate waste.

#### REFERENCES

1 **Mukanov, A., Parpiev, A., Baytenov, M.** «Reduction of torch oil consumption by furnace P-601/2 of the VDU unit POCR» POCR series of slides, p. 1–37, (2017).

2 **Atanas, J. P., Rodrigues, C. C., Simmons, R. J.** «Lean Six Sigma Application in Oil and Gas Industry: Case Studies», International Journal of Scientific and Research Publication, – p. 540–544, (2016).

3 **Voehl, F., Harrington, H. J., Mignosa, C.** «The Lean Six Sigma black belt handbook» Taylor and Francis Group, – p. 185–187, (2014).

4 **Pyzdek, T.** «The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for the Green Belts, Black Belts, and Managers at all levels», Revised and Expanded Edition, McGraw-Hill, (2003).

5 **Pyzdek, T., Keller, P.** «The Six Sigma Handbook» 3rd edition, NY: McGraw-Hill, (2009).

6 <https://goleansixsigma.com/dmaic-five-basic-phases-of-lean-six-sigma/>, [accessed 19.12.2018].

7 <https://www.process.st/dmaic/>, [accessed 19.12.2018].

8 <https://tallyfy.com/what-is-dmaic/>, [accessed 19.12.2018].

9 **Kusnadi, A.** «Key success factors of Lean Six Sigma implementation in oil and gas industry: Case study in MBU, strategic business unit of XYZ», ICTOM 04 – The 4th International Conference of Technology and Operations Management, – p. 368–387.

Material received on 04.06.20.

*А. Т. Муканов<sup>1</sup>, Р. А. Амриев<sup>2</sup>, М. А. Елубай<sup>3</sup>*

«ПНХЗ» ЖШС мазутты вакуумдық айдау қондырғысының жұмыс тиімділігінде «Lean Six Sigma» майын өндіру тұжырымдамасының рөлі<sup>1,2,3</sup>

Химия және жаратылыстану факультеті,  
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*А. Т. Муканов<sup>1</sup>, Р. А. Амриев<sup>2</sup>, М. А. Елубай<sup>3</sup>*

Роль применения концепции бережливого производства «Lean Six Sigma» в операционной эффективности установки вакуумной перегонки мазута на ТОО «ПНХЗ»

<sup>1,2,3</sup>Факультет химии и естествознания,  
Павлодарский государственный университет  
имени С. Торайғырова,  
г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.  
Материал поступил в редакцию 04.06.20.

Бұл мақалада Павлодар мұнай-химия зауытында *Lean Six Sigma* енгізуге шолу жасалды. Вакуумдық дистилляцияны орнату қызығушылық тудырды, онда технологиялық пешке алау майының шығынын азайту 9 млн теңге көлемінде қаржылық пайда алуға әкелді. *Lean Six Sigma* тұжырымдамасын УВО-да сәтті жүзеге асырудың ерекше жағдайы *Lean Six Sigma*-ның басқа МӨЗ технологиялық қондырғыларына кеңінен таралуына әкелді.

В данной статье был сделан обзор внедрения *Lean Six Sigma* на Павлодарском нефтехимическом заводе. Предметом интереса была установка вакуумной дистилляции, где снижение расхода факельного масла на технологическую печь привело к получению финансовой прибыли в размере 9 млн тенге. Этот частный случай успешной реализации концепции *Lean Six Sigma* на УВО привел к широкому распространению *Lean Six Sigma* на другие технологические установки НПЗ.

ГРНТИ 44.31.35

**А. С. Никифоров<sup>1</sup>, Е. В. Приходько<sup>2</sup>,  
А. К. Кинжибекова<sup>3</sup>, Ш. М. Нуркина<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>магистр, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан

e-mail: sholpan\_shupeeva@mail.ru

## **АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАЗОГРЕВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ**

*В статье рассматривается экономический эффект от внедрения рациональных режимов разогрева высокотемпературных агрегатов после проведения ремонтной кампании. Проводится сравнительный анализ составляющих экономического эффекта данного решения. Применение наиболее рациональных технологических режимов разогрева печей спекания даст существенную экономическую прибыль.*

*Ключевые слова: высокотемпературный агрегат, печи спекания, футеровка, огнеупоры, капитальный ремонт, текущий ремонт, экономические затраты.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в различных отраслях промышленности широко применяются промышленные печи различного назначения (металлургия, нефтехимия, строительство), сушильные установки, теплосиловые установки (паровые котлы и турбины), и др. имеющие в конструкции футеровку (обмуровку). Тепловая работа футеровок различного оборудования осуществляется по общим принципам и законам.



Для футеровки ряда высокотемпературных агрегатов применяются огнеупорные шамотные изделия. В процессе эксплуатации оборудования, футеровка рассматриваемых агрегатов разрушается и подлежит ремонту.

Для большинства агрегатов (например, металлургических печей) износ футеровки – основная причина вывода их в ремонт. От стойкости футеровки во многом зависят производительность печей, качество и себестоимость выпускаемой ими продукции, расход топлива, продолжительность работы без остановки на плановые и аварийные ремонты.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Разогрев вращающихся печей по производству глинозема во многом определяет продолжительность их рабочей кампании. Превышение допустимых скоростей нагрева огнеупорной футеровки приводит к появлению опасных разрушающих напряжений и, как следствие, ведет к образованию трещин, сколов отдельных кирпичей и фрагментов футеровки.

После капитального ремонта необходим более длительный период разогрева, так как футеруемый материал сырой и, как правило, большая часть поверхности кладки не имеет гарнисаж. При непродолжительных остановках, вызванных профилактическими работами или технологическими срывами, высокотемпературные агрегаты запускаются по ускоренному графику. Наличие в горячих зонах гарнисажа и достаточная монолитность системы: огнеупорный кирпич + швы + подушка + корпус, позволяют значительно быстрее вводить агрегат в строй.

Футеровка рассматриваемых печей спекания и кальцинации выводится в капитальный ремонт в среднем один раз в год на срок 45 суток. Текущие ремонты составляют от 10 до 30 суток, и проводится один-два раза в год. При текущем ремонте производится замена 30 погонных метров футеровки; при капитальном ремонте кладка меняется полностью. Ежегодно проводится один капитальный ремонт или один-два текущих ремонта.

В условиях рационального режима разогрева и охлаждения высокотемпературных агрегатов практически исключаются аварийные ремонты.

На примере печей спекания рассмотрим экономический эффект от внедрения рациональных режимов разогрева после проведения ремонтной кампании. Для данных агрегатов выделим три основных составляющих:

- затраты на ремонт футеровки печи;
- затраты на разогрев печи после вывода из ремонта;
- потери произведенной продукции (спёка) из-за простоя печи во время ремонта.

В затратах на ремонт футеровки печи рассмотрим только стоимость огнеупорных материалов, используемых при ремонте, как главный расходный материал. При этом стоимость ремонтных работ учитывать не будем, так как это выполняется собственными силами предприятия.

Для футеровки вращающейся печи спекания применяется шамотный кирпич марки ШЦУ по ГОСТ 21436–75 «Изделия огнеупорные и высокоогнеупорные для футеровки вращающихся трубчатых печей». Кладка корпуса ведется кирпичом: клин торцевой двухсторонний номеров 3; 4 (3А; 4А); высота кирпича 200 мм. Футеровка вращающейся печи по СНиП относится к категории «тщательной».

Футеровка вращающейся печи ведется отрезными панелями длиной по 6 метров продольными рядами с перевязкой швов на кладочном растворе.

В таблице 1 представлена информация по затратам на покупку шамотного кирпича (открытый доступ), использованного для аварийного ремонта футеровки восьми печей спекания за период с 2016 г. по 2018 г.

Таблица 1 – Общие затраты на покупку шамотного кирпича, млн. тенге

№ печи	2016 г.	2017 г.	2018 г.
1	1,94	–	–
2	1,26	–	–
3	–	–	–
4	–	–	1,02
5	–	1,46	–
6	–	2,04	–
7	0,61	–	–
8	–	–	–
<b>Всего</b>	<b>3,81</b>	<b>3,50</b>	<b>1,02</b>

Общие затраты на аварийный ремонт футеровки печей спекания за три года составляют 8,33 млн. тенге.

При рассмотрении затрат на разогрев печи после вывода из ремонта необходимо определить общую стоимость мазута М-100, применяемого для разогрева печи спекания после текущего и капитального ремонта. На печах спекания для розжига установлена мазутная форсунка производительностью 2,7 т/час.

Рассматривая данный вид затрат, будем исходить из того, что предлагаемые в [1] рациональные режимы разогрева высокотемпературных агрегатов позволяют сократить время разогрева печей после вывода из текущего или капитального ремонта на 11 часов. Это позволит определить уменьшение затрат на покупку мазута относительно тех же затрат для

фактических графиков разогрева. Расчетные данные по печам при стоимости мазута марки М-100 111 тыс. тг/т представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Снижение общих затрат на мазут марки М-100, млн. тенге

№ печи	2016 г.	2017 г.	2018 г.
1	3,3	3,3	3,3
2	3,3	3,3	3,3
3	3,3	3,3	–
4	–	3,3	3,3
5	3,3	–	3,3
6	–	3,3	3,3
7	3,3	3,3	3,3
8	3,3	3,3	3,3
<b>Всего</b>	<b>19,8</b>	<b>23,1</b>	<b>23,1</b>

Суммарная прибыль от уменьшения расхода мазута на разогрев печей спекания за три года составила 66 млн. тенге.

Экономические потери с недовыпущенной продукцией в связи с выводом в ремонт высокотемпературных агрегатов при производительности каждой печи 65 т/час за три года ориентировочно составили 9 млрд. тенге. Очевидно, что данная составляющая занимает львиную долю в суммарных потерях, связанных с проведением ремонтной кампании печей спекания, поэтому при дальнейшем анализе исключим ее из рассмотрения.

Сравнение двух рассмотренных компонентов экономической прибили за 2016–2018 г.г. представлено на диаграмме 1.

Диаграмма 1 – Сравнительный анализ экономических затрат



Полученные данные свидетельствуют о том, что расходы на покупку мазута для разогрева печей после вывода их из аварийного ремонта в несколько раз (от 5 до 22) превышают затраты на покупку шамотного кирпича, используемого при аварийном ремонте.

### ВЫВОДЫ

Внедрение рациональных режимов разогрева высокотемпературных агрегатов позволит:

1 Снизить затраты на приобретение шамотного кирпича марки ШЦУ, связанные с отсутствием аварийных ремонтов, в среднем на 2,77 млн. тенге в год.

2 Уменьшить затраты на покупку мазута марки М-100 в виду сокращения времени разогрева печей после вывода из текущего или капитального ремонта на 11 часов, что в среднем составит 22 млн. тенге в год.

3 Получить экономическую прибыль за счет производства конечной продукции, которую могли бы реализовать, если бы: во-первых, печи спекания не останавливались на аварийный ремонт; во-вторых, разогрев данных печей после ремонтной кампании был сокращен на 11 часов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Карманов, А. Е. Физическое моделирование процесса разогрева футеровок высокотемпературных агрегатов [Текст] / Никифоров А. С., Приходько Е. В., Карманов А. Е. // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. – 2012. – № 9–10. – С. 88–89.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

А. С. Никифоров<sup>1</sup>, Е. В. Приходько<sup>2</sup>, А. К. Кинжибекова<sup>3</sup>, Ш. М. Нуркина<sup>4</sup>

**Жоғары температуралы агрегаттарды қыздырудың ұтымды режимдерін енгізудің экономикалық тиімділігін талдау**

<sup>1,2,3,4</sup>Энергетикалық факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

A. S. Nikiforov<sup>1</sup>, E. V. Prikhodko<sup>2</sup>, A. K. Kinzhibekova<sup>3</sup>, Sh. M. Nurkina<sup>4</sup>

### Analysis of economic efficiency of high-temperature units' rational heat-up modes implementation

<sup>1,2,3,4</sup>Power Faculty,  
S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.  
Material received on 04.06.20.

*Мақалада жөндеу науқаны жүргізілгеннен кейін жоғары температуралы агрегаттарды қыздырудың рационалды режимдерін енгізудің экономикалық тиімділігі қарастырылады. Осы шешімнің экономикалық тиімділігін құрайтын салыстырмалы талдау жүргізіледі. Пісіру пештерін қыздырудың неғұрлым тиімді технологиялық режимдерін қолдану айтарлықтай экономикалық пайда әкеледі.*

*The article considers the economic effect of high-temperature units' rational heat-up modes implementation after the repair campaign. A comparative analysis of the economic effect's components of this decision is carried out. Application of the most rational technological heat-up modes of agglomeration furnaces will give significant economic profit.*

ГРНТИ 621.313

**А. Н. Новожилов<sup>1</sup>, Т. А. Новожилов<sup>2</sup>, Д. К. Асаинова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, Энергетический институт, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050, Российская Федерация;

<sup>3</sup>докторант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>novozhilova\_on@mail.ru; <sup>2</sup>timokvey@mail.ru; <sup>3</sup>diannn@mail.ru

### СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ НА БАЗЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ТОКОВОГО РЕЛЕ РТ-40

*В статье приведены технические характеристики реле тока серии РТ-40. Анализ конструкции и этих характеристик показал, что на их основе можно изготовить магнитный трансформатор тока с контактом (МТТк), использование которого позволяет обойтись без трансформатора тока. Рассмотрены методы размещения МТТк на шине с целью реализации максимальной токовой защиты с токами срабатывания равными 66-200 А. Рассмотрены случаи зависимости магнитодвижущей силы срабатывания реле от тока срабатывания защиты МТТк, а также схемы расположения МТТк при реализации максимальной токовой защиты с МТТк при токах срабатывания менее 66 А и более 200 А. Приведены условия выбора тока срабатывания МТТк однорелейных максимальных токовых защит линий при различных токах срабатывания.*

*Ключевые слова: релейная защита, магнитный трансформатор тока с контактом.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Одним из видов защит элементов электрических станций и электроэнергетических систем от коротких замыканий является максимальная токовая защита. Для ее выполнения обычно используют трансформатор тока и токовое реле [1–3]. Наиболее часто в качестве токового реле применяют реле РТ-40. В связи с тем, что трансформаторам тока, особенно на большие

токи, присущ большой вес и размеры и соответственно их высокая стоимость, от их использования можно отказаться. В этом случае, для создания защиты элементов электрических систем можно воспользоваться магнитным трансформатором тока с контактом (МТТк), выполненным на базе токового реле РТ-40.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с [4] в настоящее время выпускается широкий спектр реле РТ-40. Из [4] также известно, что цоколь реле выполняется из карболита, а для обмоток используют провод ПЭВ-2 и ПБД. Что позволяет подключать обмотки этих реле на напряжение до 0,4 кВ. Технические характеристики реле тока серии РТ-40 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики реле тока серии РТ-40

Тип реле	Ток срабатывания $I_{cp}$ , А	Число витков в обмотке $w_p$ , вит	Магнитодвижущая сила срабатывания $F_p$ , А×вит.
РТ40/0,2	0,05-0,1	780	78-156
РТ40/0,6	0,15-0,3	220	66-132
РТ40/2	0,5-1,0	75	75-150
РТ40/6	1,5-3,0	25	75-150
РТ40/10	2,5-5,0	15	75-150
РТ40/20	5,0-10,0	8	80-160
РТ40/50	12,5-25	3	75-150
РТ40/100	25-50	2	100-200
РТ40/200	50-100	1	100-200

Анализ величин магнитодвижущих сил срабатывания реле типа РТ– 40, приведенных в таблице 1 показывает, что на их основе можно изготовить МТТк для размещения на шине, как это показано на рисунке 1,а с целью реализации максимальной токовой защиты с токами срабатывания равными 66-200 А. В этом случае, установка МТТк на шину осуществляется в следующей последовательности. Первоначально на шину накладывают изоляцию в виде ленты из стеклоткани, которую пропитывают эпоксидной смолой. Затем на эту изоляцию надевают МТТк. После затвердения изоляции, МТТк оказывается надежно закрепленным на шине. Такая установка МТТк позволяет не только просто и надежно закрепить его на токоведущей шине, но и защитить обслуживающий персонал от поражения электрическим током при выставлении порога срабатывания.

Схема однорелейной максимальной токовой защиты с использованием МТТк и независимой характеристикой времени срабатывания приведена на рисунке 1,б.

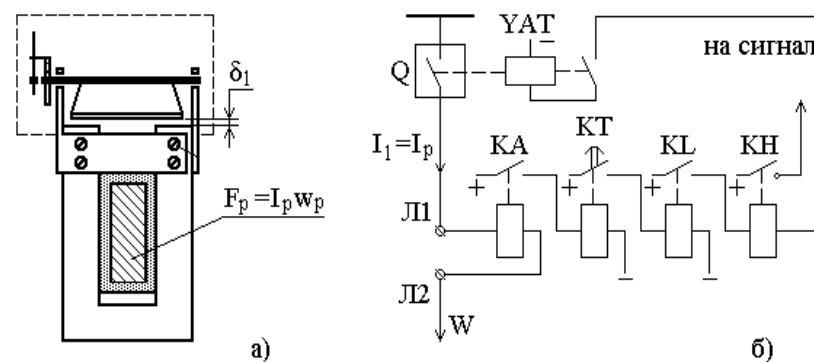


Рисунок 1 – Расположение шины с током в МТТк и схема однорелейной максимальной токовой защиты с таким МТТк

Ток срабатывания МТТк максимальной токовой защиты линий для передачи электрической энергии выбирается с учетом следующих условий [5]:

- 1) защита не должна приходить в действие при прохождении по защищаемому элементу максимального тока нагрузки;
- 2) защита должна надежно работать при КЗ на защищаемом элементе и иметь коэффициент чувствительности не менее 1,5;
- 3) защита должна действовать при КЗ на смежном резервируемом элементе и иметь коэффициент чувствительности в конце этого элемента не менее 1,2.

С учетом этого, ток срабатывания МТЗ на МТТк определяется как

$$I_{c,з} = \frac{k_n k_z}{k_b} I_{n,max}, \tag{1}$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности принимается равным 1,1–1,25;  $k_z$  – коэффициент запаса;  $k_b$  – коэффициент возврата пусковых токовых реле, для реле типа РТ-40 равен 0,85;  $I_{n,max}$  – максимальный ток нагрузки.

Коэффициент чувствительности защиты рассчитывается как

$$k_{\chi} = I_{\chi,min} / I_{c,з}, \tag{2}$$

где  $I_{k,min}$  – наименьший ток короткого замыкания на защищаемом элементе, для различных типов элементов определяется по разному [3].

Если величина  $I_{c,з}$  МТТк меньше магнитодвижущей силы срабатывания  $F_p$  реле, то тогда для построения максимальной токовой защиты следует воспользоваться схемой приведенной на рисунке 2.

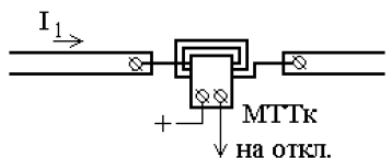


Рисунок 2 – Схема включения МТТк в максимальную токовую защиту с током срабатывания менее 66А

В этой схеме обмотка МТТк имеет несколько витков, выполненных из изолированного медного многожильного провода сечением 5–7,5 мм<sup>2</sup>. На ее концы напрессовываются наконечники. Эта обмотка включается в разрез силового провода защищаемого элемента и коммутируется на нем с помощью болтов. При этом, ток срабатывания МТЗ на МТТк определяется как

$$I_{c,з} = \frac{k_n k_z}{k_e} (I_{n,max} w_p). \quad (3)$$

В этом случае, число витков обмотки подбирается таким, чтобы величина  $I_{c,з}$  не была меньше магнитодвижущей силы срабатывания  $F_p$ , того типа реле, из которого изготовлен МТТк, а ее сечение – чтобы обладать термической стойкостью при длительном протекании рабочего тока по этой обмотке.

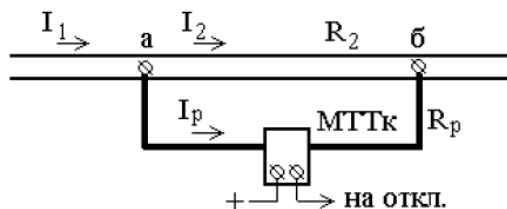


Рисунок 3 – Схема максимальной токовой защиты на МТТк с током срабатывания более 200А

Если МТТк расположен на шине с током, а ток срабатывания окажется больше 200 А, то тогда при реализации защиты следует использовать схему,

приведенную на рисунке 3. В этом случае, обмотка МТТк также выполняется из медного изолированного многожильного провода. На ее концы напрессовываются наконечники, а коммутация осуществляется с помощью болтов. При этом, величина тока срабатывания МТТк рассчитывается следующим образом.

Если допустить, что сопротивление обмотки МТТк и участка шины между зажимами «а» и «б» чисто активное, магнитный поток через плоскость контура этих зажимов отсутствует, а ток в защищаемом элементе равен  $I_1$ , то тогда полное сопротивление между этими зажимами определится как

$$R_{aб} = (R_2 + R_p) / (R_2 R_p), \quad (4)$$

а ток в обмотке реле

$$I_p = I_1 R_2 / (R_2 + R_p). \quad (5)$$

Активные сопротивления  $R_2$  и  $R_p$  можно рассчитать как

$$R_2 = \rho_1 l_{aб} / s_{ш} \text{ и } R_p = \rho_2 l_p / s_p, \quad (6)$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – удельное сопротивление материала шины и обмотки МТТк;  $l_{aб}$  и  $l_p$  – длина шины и обмотки МТТк;  $s_{ш}$  и  $s_p$  – площадь поперечного сечения шины и проводника обмотки МТТк.

В этом случае ток срабатывания

$$I_{c,з} = \frac{k_n k_z}{k_e} I_{n,max} \frac{R_2}{(R_2 + R_p)}, \quad (7)$$

где  $I_{n,max}$  – максимальный ток нагрузки.

Таким образом, максимальные токовые защиты, построенные на МТТк, выполненные на базе магнитной системы токовых реле РТ-40, просты в исполнении и позволяют отказаться от применения для этих целей трансформаторов тока. Что, несомненно, расширяет область применения известных токовых защит.

### ВЫВОДЫ

1 Разработанная конструкция МТТк проста и позволяет при построении максимальной токовой защиты обойтись без использования трансформатора тока.

2 Предложенные схемы включения МТТк дают возможность построить однорелейную максимальную токовую защиту с произвольным током срабатывания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Федосеев, А. М.** Релейная защита электрических систем. – М. : Энергия, 1976. – 559 с.
- 2 **Беркович, М. А., Молчанов, В. В., Семенов, В. А.** Основы техники релейных защит. – М. : Энергоатомиздат 1984. – 232 с.
- 3 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М. : Высшая школа. – 1991. – 495 с.
- 4 **Алексеев, В. С.** Реле защиты [Текст] / Алексеев В. С., Варганов Б. И., Панфилов Б. И., Розенблюм Р. З. – Л. : Энергия, 1976. – 464 с.
- 5 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1974, 680 с. с ил.
- 6 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник. 10-е изд. – М. : Гардарики, 2002. – 638 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*А. Н. Новожилов<sup>1</sup>, Т. А. Новожилов<sup>2</sup>, Д. К. Асаинова<sup>3</sup>*

**РТ-40 ток релесінің магниттік жүйесі негізінде ток қорғанысын құру тәсілі**

<sup>1,3</sup>Энергетика факультеті,  
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>Энергетикалық институт,  
Омбы мемлекеттік техникалық университеті,  
Омбы қ., 644011, Ресей Федерациясы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*A. N. Novozhilov<sup>1</sup>, T. A. Novozhilov<sup>2</sup>, D. K. Assainova<sup>3</sup>*

**Method for constructing current protections based on the magnetic system of the RT-40 current relay**

<sup>1,3</sup>Faculty of Energy Engineering,  
S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Energy Institute,  
Omsk State Technical University,  
Omsk, 644011, Russian Federation.  
Material received on 04.06.20.

*Мақалада РТ-40 сериялы ток релесінің техникалық сипаттамалары келтірілген. Дизайн мен осы сипаттамаларды талдау олардың негізінде контактісі бар магниттік ток трансформаторды (МТТк) шығаруға болатындығын көрсетті, оны пайдалану ток трансформаторсыз жасауға мүмкіндік береді. 66-200 А тең іске қосылу токтары бар максималды ток қорғанысын іске асыру мақсатында шинаға МТТк орналастыру әдістері қарастырылды. МТТк қорғанысының іске қосылу тоғынан реленің іске қосылу магнит қозғалғыш күшінің тәуелділік жағдайлары қарастырылды, сондай-ақ МТТк көмегімен максималды ток қорғанысын 66 А-дан аз және 200 А-дан астам іске қосылу токтары кезінде МТТк-нің орналасу схемалары қарастырылды. Әр түрлі іске қосылу тогы кезінде желілердің бір релелік максималды токтың қорғанысын МТТк іске қосу тоғын таңдау шарттары келтірілген.*

*The article presents technical characteristics of the current relay of the RT-40 series. Analysis of the design and these characteristics showed that they can be used to make a magnetic current transformer with a contact (MCTc), the use of which allows not to apply a current transformer. Methods of placing MCTc on the bus are considered in order to implement maximum current protection with seal-in current equal to 66-200 A. Cases of the dependence of the magnetomotive force of the actuation of the relay on the seal-in current of protection of the MCTc, as well as the layout of the MCTc when implementing maximum current protection with MCTc at trip currents less than 66 A and more than 200 A are considered. The conditions for selecting the current operation of the MCTc of the single-relay maximum current protection of lines at various tripping currents are given.*

**С. Нукашев<sup>1</sup>, Б. Скрынник<sup>2</sup>, Е. Ахметов<sup>3</sup>,  
К. Тлеумбетов<sup>4</sup>, Д. Косатбекова<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>ООО «Центр точного земледелия Аэросоюз», г. Новосибирск, 630098, Российская Федерация;

<sup>3</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

## **РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЕЙ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

*В работе системы «почва – минеральные удобрения – растение» рассмотрены с точки зрения объектов управления, процессов взаимодействия минеральных удобрений с рабочими органами машин и исследованы переходные процессы дозирования. Разработаны общий алгоритм и блок-схемы управления технологическими процессами, служащие основой для разработки систем контроля и управления. На их основе разработана система контроля и управления дозирующей системы машины (СКУ ДСМ), позволяющая автоматически контролировать местоположения агрегата на поле, параллельное вождение, боковые отклонения и управлять расходом семян и удобрений по скорости и местоположению агрегата согласно заданиям электронных карт. Система также имеет функции измерения пройденного расстояния; уточнения площадей сельхозугодий; измерения обработанной площади; разбивки поля на прямоугольные заголки; получения первичной геодезической информации для изготовления планов полей и уточнения геометрических параметров с/х угодий.*

*Ключевые слова: технология переменной скорости (VRT), посев, минеральные удобрения, внутрисочвенное внесение.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Повышение эффективности применения минеральных удобрений и обеспечение экологической безопасности решается посредством использования технологии внутрисочвенного дифференцированного внесения удобрений. Основные положения адаптации технологических процессов внесения удобрений к потребностям растений сформулированы в работах [1, 2, 3, 4]. Реализация этой технологии сдерживается отсутствием серийного выпуска машин, обеспечивающих адаптированное к потребностям растений точное дозирование и равномерное распределение минеральных удобрений.

В настоящее время в Республике Казахстан активно идет процесс цифровизации производственных процессов возделывания сельскохозяйственных культур. Элементы цифровых технологий – параллельное вождение и дифференцированное внесение минеральных удобрений были апробированы в 2018–2019 годы в 10-ти пилотных хозяйствах Северо-Казахстанской, Костанайской, Акмолинской и Карагандинской областей на площади 5500 га. Анализ пилотных хозяйств показывает, что в основном задержка с внедрением технологий точного земледелия обусловлена их техническим отставанием. Многие импортные посевные комплексы (ПК) последних поколений приобретены без опции дифференциации доз (VRT), а основная их масса приобретена в тот период, когда они еще не оснащались такими системами вовсе. Наиболее распространенными ПК в Казахстане с системой VRT являются сеялки John Deere выпуска после 2012 года. Общее количество ПК John Deere в Казахстане составляет 1245 единиц, из них только 21,8 % оснащены системой VRT.

Потенциал этого вида техники можно увеличить за счет модернизации посевных комплексов системой VRT [5, 6, 7]. Для этого в Казахстане имеются более 1000 единиц ПК Bourgault и John Deere без установленной системы дифференциации доз, что позволит довести площадь для внедрения точного земледелия до 3–3,5 млн. га.

Поэтому для условий Казахстана особую актуальность приобретает разработка универсальной системы управления и контроля дифференциацией внесения минеральных удобрений, способной работать с разными посевными комплексами и сеялками.

Цель исследования – разработка механико-технологических основ системы управления и контроля дифференциацией дозирования минеральных удобрений.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

### **Методика исследований**

Основной управляемый фактор – производительность высевающего аппарата. Задачей управления процессом внутрисочвенного внесения

минеральных удобрений является изменение дозы внесения удобрений  $q$  в зависимости от потребности элементарного участка поля в виде и дозах удобрения.

Функциональные схемы систем автоматического регулирования, по мнению В. П. Забродина должны включать объект управления (ОУ), датчики (Д) контроля управляемых параметров, исполнительные механизмы (ИМ) и управляющее устройство (УУ) [4], рисунок 1.

Тогда функциональная схема системы может быть представлена как система управления исполнительными механизмами изменения дозы внесения.

В отличие от рассмотренных ранее контроль и управление процессом дозирования выполняет управляющее устройство (УУ) посредством сигналов от датчика местоположения – приемника GPS или ГЛОНАСС, от электронной карты поля о потребной дозе элементов питания и исполнительных механизмов (ИМ) [9, 10, 11].

Входными воздействиями процесса дозирования в общем случае являются требуемые дозы определенного вида удобрений  $Q_o$ .

Выходная величина процесса дозирования – действительная доза  $Q_i$  удобрения. Основным параметром, влияющим на процесс дозирования, является функция объемного веса удобрений  $\gamma(t)$ .

Воздействия в виде функции  $x_2(Q_n(t))$  являются входными для процесса дозирования материала катушечным высевальным аппаратом (ВА).

Выходным параметром процесса дозирования (ВА) является функция производительности аппарата  $q(t)$ , которая характеризуется устойчивостью по ходу движения агрегата.

Управление процессом дозирования можно осуществлять изменением площади высевного окна, параметров высевающего аппарата, частоты вращения высевающего аппарата или изменением частоты импульсов у вибрационных и пневматических аппаратах.

Вектор  $U$  управляющих воздействий на (ВА) может включить изменение рабочей зоны захвата высевающей катушки  $L_k$ , высоты штифтов  $h_u$  катушки относительно цилиндрической образующей (выдвижные штифты), длины или ширины высевного окна  $a$  и  $b$ .

Выходные параметры  $q(t)$  процесса (ВА) являются входными воздействиями процесса (Т) транспортировки удобрений в сошники. Управление качеством удобрений при центральном распределении можно осуществить изменением скорости воздушного потока [8, 14, 15, 16] и направления движения воздушной смеси внутри тукопровода. Для контроля и управления подачей удобрений тукопроводы должны быть оснащены датчиками ( $D_T$ ), связанные с управляющим устройством.

Воздействия в виде функции  $x_1$  являются входными для процесса распределения удобрений ( $P$ ) внутри почвы.

Выходным параметром процесса ( $P$ ) распределения удобрений внутри почвы по ширине ленты являются функции: дозы внесенных удобрений  $q_x(t)$ , рабочей ширины ленты  $L_n(t)$ , неравномерности распределения гранул по рабочей ширине посева  $V_n(t)$ .

На функции  $L_n(t)$  рабочей ширины ленты и  $V_n(t)$  неравномерности распределения гранул по рабочей ширине посева влияют форма выполнения тукопровода (круглый, прямоугольный, трапецеидальный), скорость воздушного потока при пневмотранспортировании, скорость и направление вылета частиц удобрений из распределителя, конструктивные параметры распределителя и другие случайные возмущения.

### Результаты исследований и обсуждения

*Алгоритмы управления дозированием.* Система управления дозированием должна содержать исполнительный механизм привода дозирующей заслонки или изменения частоты вращения дозирующей катушки, датчики уровня удобрений в бункере, подачи материала, контролирующей подачу удобрений через высевные окна, датчик местоположения, датчик скорости, датчик положения заслонки.

В зависимости от конструкции механизма привода вала высевающих аппаратов доза внесения может быть функцией скорости движения машины (привод вала высевающих аппаратов от ходовых колес) или функцией частоты вращения катушек (независимый привод вала высевающих аппаратов).

Так как при первом случае угловая скорость вращения катушек  $\omega_k$  связана со скоростью движения машины  $v_m$ , то управляющим воздействием  $X(t)$  является площадь высевного окна  $A_{во}$ , а возмущающими воздействиями  $Z(t)$  – плотность  $\rho$ , влажность удобрений  $W$ , скорость движения машины  $vm$  и другие случайные воздействия  $F(t)$ .

Разработанный нами алгоритм контроля дозирующей системы согласно рисунку 1 содержит входные данные, включающие ширину захвата агрегата, калибровочную зависимость актуатора – напряжение на потенциометре/ норма внесения, скорость движения агрегата, нормы внесения по умолчанию, карту–задание для дифференцированного внесения. Выходные данные при появлении скорости в режиме «Обработка» включают перемещение штока актуатора в положение, обеспечивающее открытие заслонки дозатора для разбрасывателя или обороты катушки дозатора для сеялки с нормой внесения, а при отсутствии скорости – перемещение штока актуатора в закрытое положение окна дозатора для разбрасывателя и отсутствие оборотов катушки дозатора для сеялки.



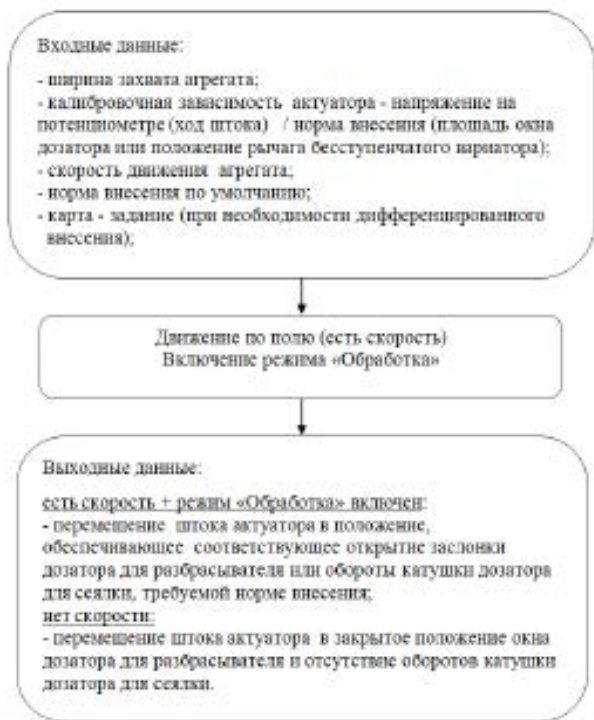


Рисунок 1 – Алгоритм контроля дозирующей системы

Разработанный алгоритм программы управления системы контроля и управления дозирующей системы машины (СКУ ДСМ) начинается с выбора режима работы – новая обработка или продолжение предыдущей, рис. 2. При новой обработке полей в первую очередь в оперативную память загружается карта-задание. Далее вводятся параметры: номер поля, норма внесения по умолчанию, ширина обработки и режим управления дозатором. При этом выполнение процесса дифференцированного внесения начинается с контроля текущих параметров и сохранение данных в контрольный файл. Если есть скорость агрегата, то определяется ячейка с заданной нормой и включается электрический сигнал управления актуатором на открытие заслонки в положение, соответствующее текущей скорости и норме внесения для ячейки.

В случае не подтверждения ячейки с заданной нормой включается электрический сигнал управления актуатором на открытие заслонки (перевода вариатора) в положение, соответствующее текущей скорости и норме по умолчанию.

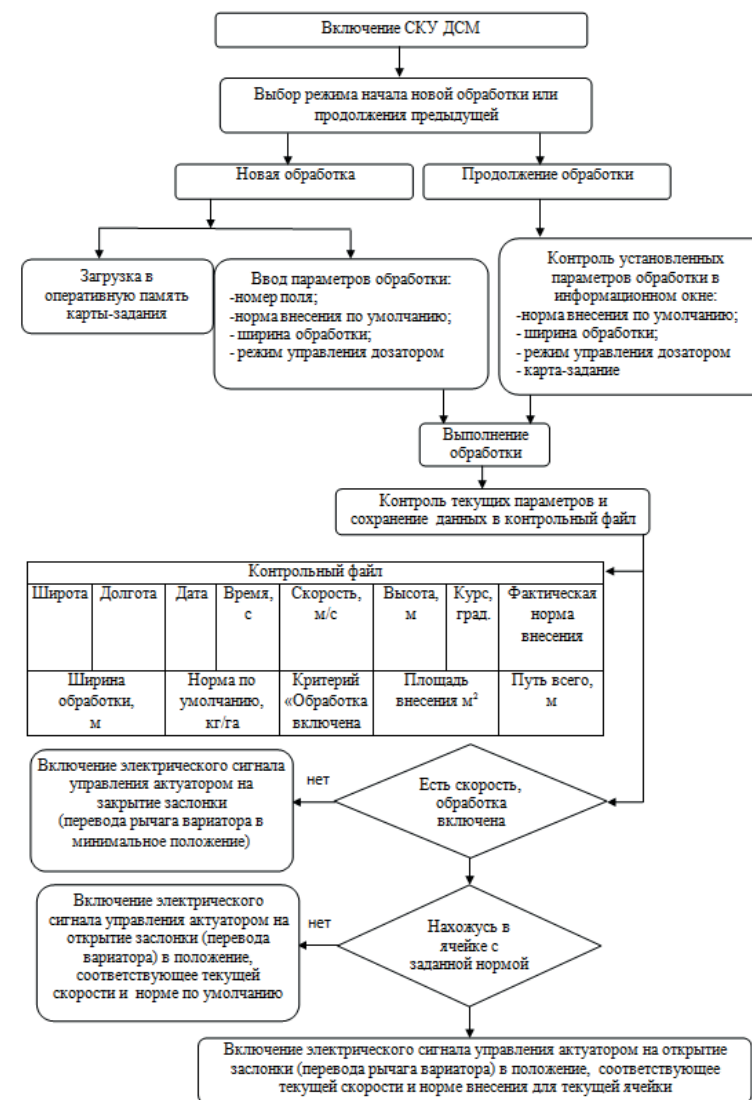


Рисунок 2 – Алгоритм программы управления дозирующей системой машины

В программу были заложены основные стандартные функции, обеспечивающие выполнение технологии дифференцированного внесения удобрений по карте-заданию с автоматическим регулированием дозы внесения 2-х видов удобрений по скорости и местоположению агрегата на поле:

- подготовка карты-задания с прямоугольными ячейками поля;
- загрузка и отображение подготовленных в программе Google Планета Земля карт-заданий с ячейками поля произвольной формы и точек мест планируемого отбора проб;
- автономная, или по сигналу почвенного проботборника, фиксация координат места забора проб;
- визуализация и сохранение в файл координат меток отбора проб (широта + долгота + высота + дата и время) с привязкой номера пробы к номеру ячейки.
- калибровка положения заслонок дозаторов или частот вращения высевающих катушек (через рычаг бесступенчатого вариатора) по дозе внесения 1-го или 2-х видов удобрений;
- автоматическое совместное или раздельное регулирование дозы внесения до 2-х видов удобрений по скорости движения для внесения нормы по умолчанию;
- автоматическое совместное или раздельное регулирование дозы внесения до 2-х видов удобрений для выдерживания требуемой нормы по карте-заданию (дифференцированное внесение) [12, 13].

После включения питания на экране появляется заставка загрузки операционной системы, по окончании которой дозирующая система машины (ДСМ) перейдет в основной «Рабочий» экран с выводом информации о текущих параметрах обработки, рис. 3).



Рисунок 3 – Окно «Настроек»

Окно «Настроек» выводится каждый раз после включения электропитания или в любой момент времени после нажатия на кнопку.

При необходимости, из этого же окна проводится корректировка параметров обработки.

Виды рабочих экранов во время дифференцированного внесения удобрений по картам – заданиям показаны на рисунке 4.



Рисунок 4 – Вид рабочего экрана во время работ по дифференцированному внесению удобрений

**Экспериментальные исследования.** Для проверки работы системы контроля и управления дифференциацией доз удобрений выбрана экспериментальная зернотукотравяная сеялка с катушечно-штифтовым высевающим аппаратом [8]. Основным показателем работоспособности системы является изменение дозы внесения согласно карте-заданию.

Для анализа качества работы дозирующего рабочего органа при переходе с одной дозы на другую используются 2 параметра: время, в течение которого устанавливается нужная доза, величина отклонения дозы от заданной (%) и неравномерность дозирования (%).

Для определения времени переходного периода была разработана частная методика. Обзор существующих стандартов показывает, что не разработаны методы определения количества и неравномерности высева при переходных процессах дифференцированного дозирования.

Поисковые опыты показали, что максимальное время вхождения в дозу в экспериментальном бортовом навигационном комплексе составляет 9с. Анализ показывает, что максимальная время перехода с максимальной дозы до закрытия актуатора составляет 9с. Минимальное время перехода

составляет 0,9 с при переходе с одной дозы на другую при 10 %-ном открытии актуатора, табл. 1.

Таблица 1 – Определение времени переходного процесса

Переход	Время, t	Переход	Время, t
100-0	9,0	0-100	9,0
100-10	8,1	10-100	8,1
100-20	7,2	20-100	7,2
100-30	6,3	30-100	6,3
100-40	5,4	40-100	5,4
100-50	4,5	50-100	4,5
100-60	3,6	60-100	3,6
100-70	2,7	70-100	2,7
100-80	1,8	80-100	1,8
100-90	0,9	90-100	0,9

Анализ величины отклонения дозы от заданной показывает, что от 2,5 до 3 секунд отклонения варьируют в пределах 10–15 %, а более 3 секунд – 3–9 %. При скорости 8 км/ч агрегат за 3 секунды проедет 6–7 метров, а при размере элементарного участка 1 га (100x100 м) возможно применение дозаторов с большим в 2–3 раза временем вхождения в дозу, рисунок 5.

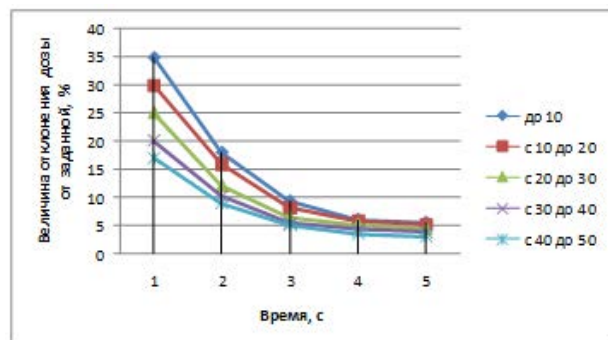


Рисунок 5 – Зависимости отклонения дозы от заданной при переходе от одной дозы к другой

По результатам эксперимента и обработки данных получены переходные характеристики, имеющие вид, характерный для апериодического звена со временем запаздывания 2,9–3,1 с.

Вид переходных характеристик подтверждает о том, что экспериментальный катушечно-штифтовый туковысевающий аппарат может быть представлен как апериодическое звено, если управляющим воздействием является площадь высевного окна.

Неравномерность высева в начале переходного процесса минимальна (2,7 %), а затем резко возрастает до 10,1 %. После вхождения в дозу наблюдается убывание неравномерности высева и стабилизация на уровне 3,3–3,5 %.

В результате реализации эксперимента и обработки данных получены переходные характеристики, имеющие вид, характерный для апериодического звена со временем запаздывания  $\tau=2,2-2,5$  с.

Неравномерность дозирования удобрений в начале переходного процесса минимальна и составляет 4,3 %, а затем возрастает до 12 %. Время роста неравномерности высева близко к времени установления дозы внесения. После установления необходимой дозы наблюдается снижение неравномерности до 4–5 %.

### ВЫВОДЫ

Разработанная система контроля и управления дозирующей системы машины (СКУ ДСМ) позволяет автоматически контролировать местоположения агрегата на поле, параллельное вождение, боковые отклонения и управлять расходом семян и удобрений по скорости и местоположению агрегата согласно заданиям электронных карт. Также имеет функции измерения пройденного расстояния, уточнения площадей сельхозугодий, измерения обработанной площади, разбивки поля на прямоугольные загонки, получения первичной геодезической информации для изготовления планов полей и уточнения геометрических параметров с/х угодий.

СКУ ДСМ имеет переходные характеристики, характерные для апериодического звена со временем запаздывания 2,9–3,1 с и обеспечивает автоматическое изменение доз удобрений со временем перехода 0,9–9 с.

### Благодарность

Авторы выражают благодарность МОН и МСХ РК за финансирование научных работ. Исследования выполнены в рамках реализации проекта AP05134800 «Разработка автоматизированной зернотукотравяной сеялки для дифференцированного прямого посева сельскохозяйственных культур под покровные культуры и в дернину с одновременным внесением минеральных удобрений» и выполнения прикладных научных исследований в области АПК на 2018–2020 годы по бюджетной программе 267 «Повышение доступности

знаний и научных исследований» по подпроекту «Дифференциация технологических процессов при возделывании сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия на основе модернизации используемой техники и информационно-технологии».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Якушев, В. П.** На пути к точному земледелию. – СПб. : Издательство ПИЯФ РАН, 2002. – 456 с.

2 **Личман, Г. И.** Основные направления фундаментальных и прикладных исследований по координатному земледелию // Машинные технологии дифференцированного применения удобрений и мелиорантов: тр. 2-й науч. практ. конф. – Рязань, 2001. – С. 53–55.

3 **Белых, С. А.** Обоснование параметров дозирующей системы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений: автореф. канд. техн. наук.: 05.20.01. – М. : ВИМ, 2005. – 16 с.

4 **Забродин, В. П.** Механизация процессов адаптивного внесения минеральных удобрений: дисс. докт. тех. наук.: – Зерноград, 2004. – 384 с.

5 **Forouzanmehr, E., Loghavi, M.** Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system/ AgricEngInt: CIGR Journal Open access [Electronic resource]. – <http://www.cigrjournal.org>, 2012. – Vol. 14. – No.4. – P. 255–261.

6 SAE Standards. J1939: Serial control and communications heavy duty vehicle network – Top level document. 2013. [Electronic resource]. – [http://standards.sae.org/j1939\\_201308/](http://standards.sae.org/j1939_201308/).

7 **Pitla, S. K., Lin, N., Shearer, S. A., Luck, J. D.** Use of controller area network (CAN) data to determine field efficiencies of agricultural machinery. Applied Engineering in Agriculture / Vol. 30(6). – 2015. – P. 829–839.

8 **Nukeshev, S., Yeskhozhin, K., Karaivanov, D., Ramaniuk, M., Tleumbetov, K., Kossatbekova, D., Saktaganov, B.** Agricultural machinery 2019: VII International scientific congress., 26–29 June 2019. – Burgas, Bulgaria, 2019. – P. 120–124.

9 **Wang Xiu, Zhao Chunjiang, Meng Zhijun, Chen Liping, Pan Yuchun, Xue Xuzhang.** Design and experiment of variable rate fertilizer applicator / Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. – Vol. 20. – No.5. – P. 114–117.

10 **Wei Liguo, Zhang Xiaochao, Yuan Yanwei, Liu Yangchun, Li Zhuoli.** Design and experiment of 2F-6-BP1 variable rate assorted fertilizer applicator / Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. – Vol. 28. – No.7. – P. 114–117.

11 **HuaiBaofu, Liang Chunying, Wang Xi, Li Aiping, Zhang Hongxia.** Design of control system of variable rate fertilization / Journal of Heilongjiang Bayi agricultural university. – No. 23 (4). – 2011. – P. 68–71.

12 **Meng Zhijun, Zhao Chunjiang, Li Hui, Fu Weigiang, Wang Xiu.** Development and performance assessment of map-based variable rate granule application system / Journal of Jiangsu university. Vol. 30, No.4. – 2009. – P. 338–342.

13 **HongleiJia, XianzhenFeng, Jiangtao Qi, Xinhui Liu, Chunxi Liu, et al.** Research and Application of Variable Rate Fertilizer Applicator System Based on a DC Motor. Daoliang Li; Yingyi Chen. 7th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA), Sep 2013, Beijing, China. Springer, IFIP Advances in Information and Communication Technology, AICT-420 (Part II), pp.381-391, 2014, Computer and Computing Technologies in Agriculture VII. <10.1007/978-3-642-54341-8\_40>. <hal-01220849>.

14 **Кулаков, Г. Т.** Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования. – Минск : Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.

15 **Вентцель, Е. С.** Теория вероятностей. – М. : Высшая школа, 2006. – 575 с.

16 **Мартыненко, И. И., Головинский, Б. Л., Проценко, Р. Д., Резниченко, Т. Ф.** Автоматика и автоматизация производственных процессов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 335 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*С. Нукешев<sup>1</sup>, Б. Скрынник<sup>2</sup>, Е. Ахметов<sup>3</sup>, К. Тлеумбетов<sup>4</sup>, Д. Косатбекова<sup>5</sup>*  
**Тыңайтқыштардың енгізілуін саралауды басқару мен бақылаудың амбебап жүйесін әзірлеу**

<sup>1,3,4,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы;  
<sup>2</sup>ООО "Центр Точного Земледелия Аэросоюз"  
 Новосибирск қ., 630098, Ресей Федерациясы.  
 Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*S. Nukeshev<sup>1</sup>, B. Skrynnik<sup>2</sup>, E. Akhmetov<sup>3</sup>, K. Tleumbetov<sup>4</sup>, D. Kosatbekova<sup>5</sup>*  
**Development of a universal system for managing and controlling the differentiation of fertilizers**

<sup>1,3,4,5</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Center for Precision Farming Aerosoyuz,  
Novosibirsk, 630098, Russian Federation.  
Material received on 04.06.20.

*«Топырақ-минералды тыңайтқыштар-өсімдік» жүйесінің жұмысында басқару объектілері, машиналардың жұмыс органдарымен минералдық тыңайтқыштардың өзара әрекеттесу процесі тұрғысынан қарастырылды және мөлшерлеудің ауыспалы процесі зерттелді. Бақылау және басқару жүйелерін әзірлеу үшін негіз болып табылатын технологиялық процесстерді басқарудың жалпы алгоритмі мен блок-схемалары әзірленді. Олардың негізінде электронды карталардың тапсырмаларына сәйкес, агрегаттың өрісте орналасқан жерін автоматты түрде бақылауға, параллель жүргізуге, бүйірлік ауытқуларға және агрегаттың жылдамдығы мен орналасқан жері бойынша тұқымдар мен тыңайтқыштардың шығынын басқаруға мүмкіндік беретін машинаның дозалатушы жүйесін бақылау және басқару жүйесі әзірленді. Жүйе сондай-ақ өткен қашықтықты өлшеу; ауыл шаруашылығы алқаптарының ауданын нақтылау; оңделген алаңды өлшеу; алаңды тікбұрышты бітемеге бөлу функциясы бар; алқаптардың жоспарларын дайындау және а/ш алқаптарының геометриялық параметрлерін нақтылау үшін бастапқы геодезиялық ақпарат алу.*

*The system «soil-mineral fertilizers-plant» is considered from the point of view of management objects, processes of interaction of mineral fertilizers with the working bodies of machines, and transient dosing processes are studied. A General algorithm and flowcharts for process control have been developed that serve as the basis for developing control systems. On their basis was developed a system of monitoring and control of dosing systems of the machine (UWC DSM), to automatically control the location of the unit on the field that is parallel to the driving lateral deviation and to control the flow of seed and fertilizer rate and location of units according to the tasks e-cards. The system also has the functions of measuring the distance traveled; updating the areas of farmland; measuring the treated area; splitting the field into rectangular pens; obtaining primary geodetic information for making field plans and specifying the geometric parameters of agricultural land.*

FTAMP 621.377.6

### **Н. П. Сапарходжаев<sup>1</sup>, М. Ә. Әбдісамат<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD, доцент, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы;  
<sup>2</sup>магистрант, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы  
e-mail: <sup>1</sup>nurbek.saparkhojayev@ayu.edu.kz; <sup>2</sup>mr.abdissamat@gmail.com

## **ТУРИЗМ МӘСЕЛЕСІН ШЕШЕТІН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ**

*Бұл зерттеу жұмысында Түркістан облысы аумағындағы тарихи жерлер, мұражайлар мен кесенелерге саяхат жасау, қонақ үйлерге алдын ала тапсырыс беріп орын брондау және ең бастысы сіздің Қазақстанның қай қаласынан болмасын келіп-кету шығынын есептеу ақпараттық жүйесі жасалды. Бұл жүйеде ең тиімді жолдарды таңдау алгоритмдері мен мейлінше қаражатты үнемдейтін бағдарламалық қамтамасыздандыру мен желілік технологиялар қолданылды. Сонымен қатар кез-келген қолданушыға арналған мобильді нұсқасы (смартфон, планшетник, нетбук) әзірленді. Түркістан облысындағы туризм мәселесін шешетін, қолданушылар мен цифрлық технологияларды байланыстыратын арнайы Web сайт әзірленді.*

*Кілтті сөздер: ақпараттық жүйе, траектория, туристік орталық, бағдарламалық қамсыздандыру, экономика, бизнес, интерфейс, администратор.*

### **КІРІСПЕ**

«Цифрлық Қазақстан» экономикаға, бизнес пен азаматтарға негізінен жаңа даму траекториясына шығуға мүмкіндік береді. «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы – бұл цифрлық технологияларды қолдану есебінен елдің әрбір азаматының тұрмыс деңгейін арттыруды көздейтін маңызды кешенді бағдарлама. Бағдарламаның негізгі мақсаттары Қазақстан Республикасының экономикасын дамытудың қарқынын арттыру және халықтың өмір сапасын жақсарту, сондай-ақ экономиканың негізінен жаңа траекториясы – болашақтың цифрлық экономикасына өту болып табылады [1].

Бүгінгі таңда цифрландыру компаниядағы операциялық қызметтің тиімділігін арттырады және бизнес-процестерді автоматтандыру арқылы оны айтарлықтай жақсартуға болады деп сеніммен айта аламыз [2]. Ұйым немесе

туристік орталықтар қызметтерінің тиімділігін арттыру үшін құрылғыда цифрлық технологияны қолдану осы технологиялар кәсіпорнында өзара әрекеттесудің оңтайлы жоспарлауын қолдануға тікелей байланысты. Туристік орталықтарда жоспарлау дегеніміз – бұл орталықтың мақсаттарын анықтау және осы мақсаттарға жету үшін қажетті іс-әрекеттерді күту, сонымен бірге ресурстарды жоспарлауды олардың жұмысын ұйымдастырудың түпкілікті мақсатымен аяқталуы керек. Ресурстарды жоспарлау сарапшыларының, материалдардың, технологиялардың, операциялардың және тапсырыстардың үйлестіруі ретінде қарастыруға болады [3]. Нәтижесінде, авторлар бұлтты есептеулер, үлкен деректер және іскери барлау сияқты жаңа есептеу парадигмасының пайда болуымен IT-қызметтеріне қызығушылықты арттырады [4]. Қазіргі таңда туристік орталықтардың бірнәшесі онлайн жүйе арқылы жұмыс жүргізе алмайды, өздерінің жеке офистерінде анықтамалар беріп және билеттерді брондап іс-сапар күндерін белгілейді. Осындай оқылықтардың орнын толтыру үшін біз бұл жұмысымызда Қазақстан (алдағы уақытта шетел азаматтарының) азаматтарының үйден шықпай-ақ Түркістан облысының тарихи жерлеріне саяхат жасау үшін қолайлы ақпараттық жүйесін жасап шықтық, және олар мына мүмкіншіліктерге ие болса жеткілікті:

1 Желіге қосылған сандық құрылғы

2 Іс-сапар рәсімдеу үшін жеке басын куәландыратын құжат

3 Жол, тур ақыларын өтеу үшін банкалық карта

Елімізде осындай мәселелерді шешуге арналған сайттар көп болуы мүмкін, бірақ олардың көпшілігі тек бір бағыт бағдар бойынша жұмыс жасайды. Біздің жасап жатқан жұмысымызда алдағы уақытта заман талабына сай өзгерістер керек болған жағдайда кез-келген өгеріске икемді ақпараттық жүйе жасалды. Арман тур туристік орталықпен бірге жұмыс жасау барысында көптеген мәселелерді шеше алатын ақпараттық жүйе жасап шықтық.

## НЕГІЗГІ БӨЛІМ

«Арман тур» Түркістан облысындағы тарихи жерлер мен мұражай, кесенелерге саяхат жасайтын туристік орталық. Өз жұмысын 2018 жылы бастаса да бұл туристік орталық 30-дан астам саяхаттарды өте жақсы деңгейде ұйымдастырды [5].

«Арман тур» еліміздегі туристік орталықтар секілді тек шет елдерге саяхат жасаудың орнына өз еліміздің тарихи жерлерін еліміздің жастарына танытып өз тарихын біліп жүруге шақырады. Басқа да бизнес әріптестері қолданатын онлайн жүйені қолдана отырып, ең бірінші офистерге барып брон жасауға кететін уақытты қысқартып үйден шықпай-ақ онлайн брондау жолын оңтайлы шеше білді [6, 7]. Кез-келген қолданушы бұл жұмыстың

нәтижесінде жасалған ақпараттық жүйеде жақын арада болатын турлардың тізімін көре алады, тарихи орындар, мұражайлар мен кесенелердің қысқаша тарихы туралы біле алады. Еліміздің ірі он төрт облысының және ірі үш қаласынан қандай көлік құралымен келіп-кету керектігін таңдап оған билеттерге тапсырыс бере алады, егерде қолданушы таңдаған мекеннен келіп кету үшін билет табылмаған жағдайда, сайтта өз өтінішін қалдыра алады. «Арман тур» орталығына келіп түскен әр-бір өтініш жеке қарастырылады және 4 сағат ішінде шешімін табады. Бұл ақпараттық жүйені біз Codeigniter MVC framework, Laravel MVC framework, MySQL apache, Wordpress технологияларын қолдану арқылы жасап шықтық [8]. Codeigniter MVC framework, Laravel MVC framework, MySQL apache, Wordpress технологиялары бізге мынадай мүмкіншіліктерді береді:

~ User oriented

~ Мәліметтер базасымен байланыс

~ Қолданушы интерфейсі

~ Модельдермен жұмыс жасау

~ View парақшалары

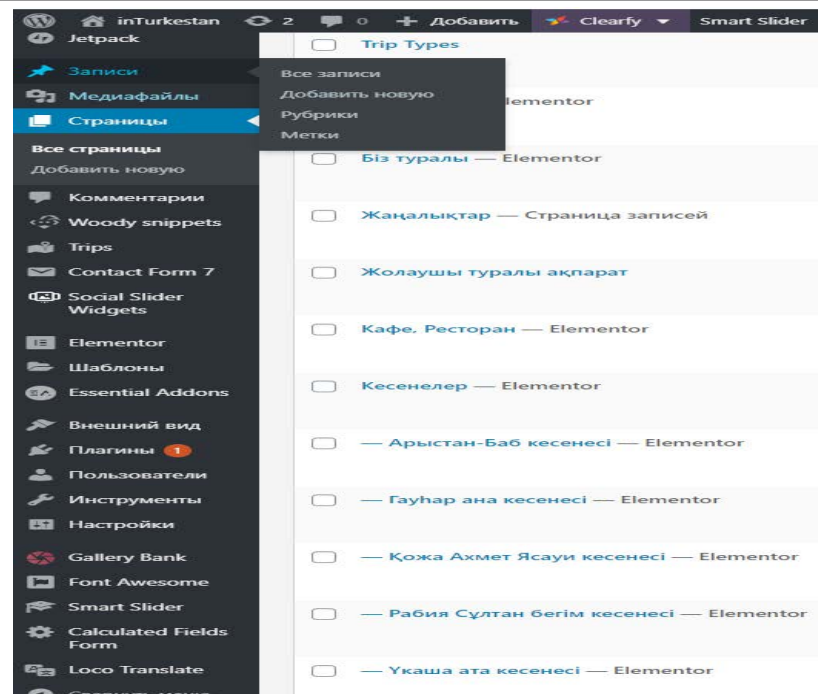
~ Controller басқарушы

Қазіргі кезде жүйеде қолданушы мына архитектура бойынша өзіне тапсырыс бере алады.

Мына 1-ші суретте көрсетілгендей, қолданушы ең адымен жүйеге кіреді, жүйедегі мәліметтермен таныса отырып таңдау жасайды, сонан соң шешім қабылдайды.

Тәжірибе барысында жұмысымыз локальды серверде жұмыс жасады, кейін «Арман тур» туристік орталығы Хостинг және домен алуына байланысты жұмыстың барлығы онлайн режиміне көшті [8, 9]. Бұл ақпараттық жүйені жасау үшін бізге екі бөлік керек болды, бірінші ол қолданушы беті болса екіншісі Администратор. Қолданушы тарапынан қандай да бір жұмыстар жүргізілгенін бақылау мақсатында Администратор бөлімін жасадық. Бұл жүйеде әзірге ешқандай ақаулықтар табылмады, егерде табылған жағдайда Администратор бөлімі арқылы кез-келген мәселені шеше алатын боламыз. Алдағы уақытта тек Түркістан облысын ғана емес Қазақстанның барлық тарихи орындарына саяхат жасау үшін өзгерістерді Администратор бөлімінде жасай береміз. Бұл жүйені жасау барысында біз Railways.kz, Aviata.kz, Kaspi.kz секілді еліміздегі ірі компаниялардың API құралдарын пайдаландық, ол жерде туындаған мәселелерді біз сол компанияларға байланысқа шығу арқылы оңай шеше білдік.





Сурет 4 – Администратор бөлігіндегі парақшалар скриншоты

### ҚОРЫТЫНДЫ

Тәжірибелер нәтижесінде «Арман тур» туристік орталықты жетілдіру саласында заманауи ақпараттық технологияларды қолдануды зерттедік. Нәтижелерді талдай отырып, желілік технологияларды қолдану және онлайн төлем жасау, онлайн брондау үшін бағдарламалық құралдарды пайдалану, сондай-ақ оларды еліміздің банктерімен серіктес болу туристік орталықтың қаржылық шығындарын азайтады деген пікірге келдік.

Нәтижелерді қорытындылай келе, әр түрлі бағдарламалық аналогтардың артықшылықтары қолданылып, қосымша функциялары қосылып, онлайн брондау, онлайн төлем жасау ағынын басқарудың жаңа жүйесін әзірлеу және қолдану жүйесінің және клиенттердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді деп қорытынды жасауға болады. Жобаланған жүйені онлайн жұмыс жасауға арналған орталықтандырылған электрондық ағынды жүйені қажет ететін әртүрлі ұйымдардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін оңай жазуға болады.

### ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Цифрлық Қазақстан. (Digital Kazakhstan) [Electronic resource]. – <https://digitalkz.kz/kz/o-programme/>.

2 **Popov, E., Mingaleva, Z.** The Digital Technologies for Improving the Operational Efficiency : Case of Russian Industry of Ferrous and Non-ferrous Metals Scrap / In: Antipova T. (eds) Integrated Science in Digital Age. ICIS 2019. Lecture Notes in Networks and Systems. – Vol 78. – Springer, Cham, 2020.

3 **Costanzo, F. et al.** Enterprise Organization and Operation. / In: Grote KH., Antonsson E. (eds) Springer Handbook of Mechanical Engineering. – Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

4 **Shao, B. B. M., & Lin, W. T.** Assessing output performance of information technology service industries : Productivity, innovation and catch-up. / International Journal of Production Economics. 2016. 172. – 43–53. [Electronic resource]. – doi:10.1016/j.ijpe. 2015.10.026.

5 **Hoogervorst J.A.P.** The Importance of Practicing Foundational Insights in Enterprise Governance and Enterprise Engineering / In: Practicing Enterprise Governance and Enterprise Engineering. The Enterprise Engineering Series. – Springer, Cham, 2018.

6 Official website of Kentau Transformer Plant. [Electronic resource]. – <http://ae-ktz.kz/>.

7 **David L. Goetsch, William Chalk, John A. Nelson.** Technical Drawing. – Delmar Publishers, 2000.

8 Ascon group. [Electronic resource]. – [http://ascon.net/solutions/kompas\\_3d](http://ascon.net/solutions/kompas_3d).

9 **Bermejo, B., Filiposka, S., Juiz, C., Gómez, B., Guerrero, C.** Improving the Energy Efficiency in Cloud Computing Data Centres Through Resource Allocation Techniques / In: Chaudhary S., Somani G., Buyya R. (eds) Research Advances in Cloud Computing. – Springer, Singapore, 2017.

10 Vangie Beal. [Electronic resource]. – <https://www.webopedia.com/TERM/A/API.html>.

11 **Shchekin, A. V., Sul'din, S. P. & Mitin, E. V.** Russ. Engin. Res. (2017) 37: 987. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.3103/S1068798X17110156>.

12 Official website of Microsoft. [Electronic resource]. – <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=25052>.

13 Official website of Microsoft. [Electronic resource]. – <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=1695>.



*Н. П. Сапарходжаев<sup>1</sup>, М. А. Абдисамат<sup>2</sup>*

### **Информационная система созданная для решения проблемы туризма**

<sup>1,2</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*N. P. Saparkhojayev<sup>1</sup>, M. A. Abdissamat<sup>2</sup>*

### **Information system that solves the problems of tourism**

<sup>1,2</sup>A. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan. Material received on 04.06.20.

*В этой исследовательской работе была создана информационная система учета расходов посещения исторических мест, музеев и мавзолеев Туркестанской области из любого города Казахстана, бронирование мест с предварительным заказом в гостиницах. В этой системе использованы алгоритмы выбора наиболее эффективных путей сетевых технологий и программное обеспечение, максимально экономящее средства. Также разработана мобильная версия для любого пользователя (смартфон, планшетник, нетбук). Разработан специальный Web сайт, связывающий пользователей и цифровые технологии для решения проблемы туризма в Туркестанской области.*

*In this research work, an information system was created to record the costs of visiting historical sites, museums and mausoleums in the territory of the Turkestan region, booking places with pre-order in hotels and, most importantly, you can visit any city in Kazakhstan. This system uses algorithms for choosing the most effective ways and network technologies and software that save money as much as possible. A mobile version has also been developed for any user (smartphone, tablet, netbook). A special Web site has been developed that connects users and digital technologies and solves the problems of tourism in the Turkestan region.*

***Н. П. Сапарходжаев<sup>1</sup>, М. Ә. Әбдісамат<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>PhD, доцент, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы; <sup>2</sup>магистрант, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы e-mail: <sup>1</sup>nurbek.saparkhojayev@ayu.edu.kz; <sup>2</sup>mr.abdissamat@gmail.com

### **ТАРИХИ ЖЕРЛЕРГЕ САЯХАТТАУҒА МҮМКІНДІК БЕРЕТІН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ**

*Бұл зерттеу жұмысында Түркістан облысы аумағындағы тарихи жерлер, мұражайлар мен кесенелерге саяхат жасау, қонақ үйлерге алдын ала тапсырыс беріп орын брондау және ең бастысы сіз Қазақстанның қай қаласынан болмасын келіп-кету шығынын есептеу ақпараттық жүйесі мобильді және планшетник құрылғыларына арнап жасалды. Бұл жүйеде ең тиімді жолдарды таңдау алгоритмдері мен мейлінше қаражатты үнемдейтін бағдарламалық қамтамасыздандыру мен желілік технологиялар қолданылды. Сонымен қатар кез-келген қолданушыға арналған мобильді нұсқасы (смартфон, планшетник, нетбук) әзірленді. Түркістан облысындағы туризм мәселесін шешетін, қолданушылар мен цифрлық технологияларды байланыстыратын арнайы Web сайт әзірленді. Қазақстанның кез-келген қаласынан (облыстар мен ірі қалалар) келіп кету транспортына кететін шығынды автоматты түрде есептеп беретін мәзір іске қосылды*

*Кілтті сөздер: туристік орталық, бағдарламалық қамсыздандыру, интерфейс, ақпараттық жүйе, бизнес, бұлттық есептеулер.*

#### **КІРІСПЕ**

«Цифрлық Қазақстан» экономикаға, бизнес пен азаматтарға негізінен жаңа даму траекториясына шығуға мүмкіндік береді. «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы – бұл цифрлық технологияларды қолдану есебінен елдің әрбір азаматының тұрмыс деңгейін арттыруды көздейтін маңызды кешенді бағдарлама. Бағдарламаның негізгі мақсаттары Қазақстан Республикасының экономикасын дамытудың қарқынын арттыру және халықтың өмір сапасын жақсарту, сондай-ақ экономиканың негізінен жаңа траекториясы – болашақтың цифрлық экономикасына өту болып табылады [1, 2].

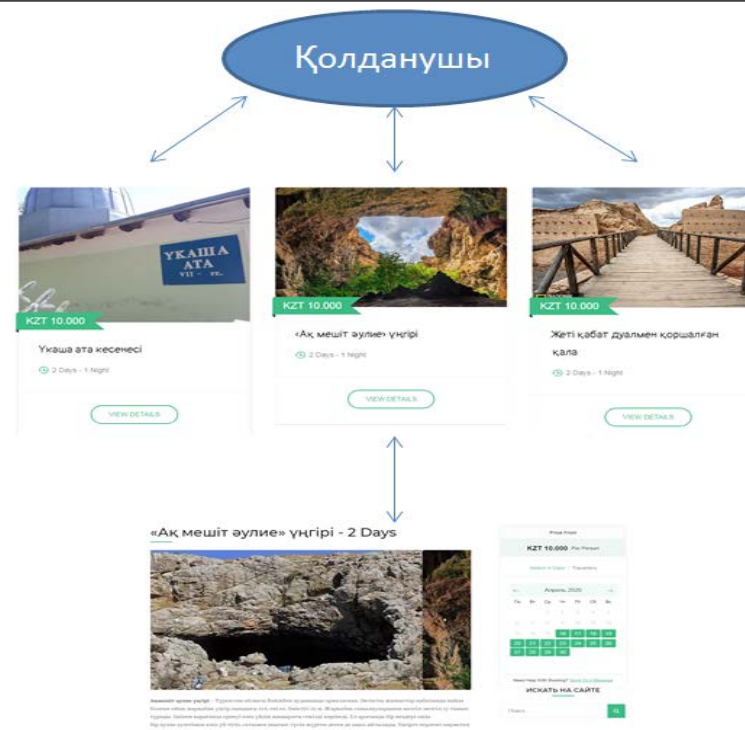
НЕГІЗГІ БӨЛІМ

«Арман тур» Түркістан облысындағы тарихи жерлер мен мұражай, кесенелерге саяхат жасайтын туристік орталық. Өз жұмысын 2018 жылы бастаса да бұл туристік орталық 30-дан астам саяхаттарды өте жақсы деңгейде ұйымдастырды.

«Арман тур» еліміздегі туристік орталықтар секілді тек шет елдерге саяхат жасаудың орнына өз еліміздің тарихи жерлерін еліміздің жастарына танытып өз тарихын біліп жүруге шақырады. Басқа да бизнес әріптестері қолданатын онлайн жүйені қолдана отырып, ең бірінші офистерге барып брон жасауға кететін уақытты қысқартып үйден шықпай-ақ онлайн брондау жолын оңтайлы шеше білді. Кез-келген қолданушы бұл жұмыстың нәтижесінде жасалған ақпараттық жүйеде жақын арада болатын турлардың тізімін көре алады, тарихи орындар, мұражайлар мен кесенелердің қысқаша тарихы туралы біле алады. Еліміздің ірі он төрт облысының және ірі үш қаласынан қандай көлік құралымен келіп-кету керектігін таңдап оған билеттерге тапсырыс бере алады, егерде қолданушы таңдаған мекеннен келіп кету үшін билет табылмаған жағдайда, сайтта өз өтінішін қалдыра алады. «Арман тур» орталығына келіп түскен әр-бір өтініш жеке қарастырылады және 4 сағат ішінде шешімін табады. Бұл ақпараттық жүйені біз Codeigniter MVC framework, Laravel MVC framework, MySQL apache, Wordpress технологияларын қолдану арқылы жасап шықтық [3,4]. Codeigniter MVC framework, Laravel MVC framework, MySQL apache, Wordpress технологиялары бізге мынадай мүмкіншіліктерді береді:

- ~ User oriented
- ~ Мәліметтер базасымен байланыс
- ~ Қолданушы интерфейсі
- ~ Модельдермен жұмыс жасау
- ~ View парақшалары
- ~ Controller басқарушы

1-суретте көрсетілгендей, қолданушы өзінің қалаған тарихи жерін таңдап ол туралы қысқаша ақпарат алады. Одан кейін өзінің баратын күнін белгілеп келесі суреттегідей тапсырыс бере алады.



Сурет 1 – Жүйенің жұмыс жасау архитектурасы

«Ақ мешіт әулие» үңгірі - 2 Days



Ақ мешіт әулие үңгірі – Түркістан облысы Балқаш ауданында орналасқан. Әртүрлі жәмістер қабатында пайда болған осылай жарнабай үңгірі биіктігі 204, ені 66, биіктігі 26 м. Жарнабай саяхаттұрарман месгіл месгіл су таман тұрады. Ішінен қарағанда еренуі қызы уайан шынарған секілді көрінеді. Ел арасында бір кезегі онда бір әулие әулетімен қызы үйігіні, сөгітмен шығып түсіп жүрген деген де оны айтылады. Үңгірге перзент көрмеген кейбір ерлі-айыптылар, ауру адамдар ал күнге дейін түспей, мінәжат етеді.

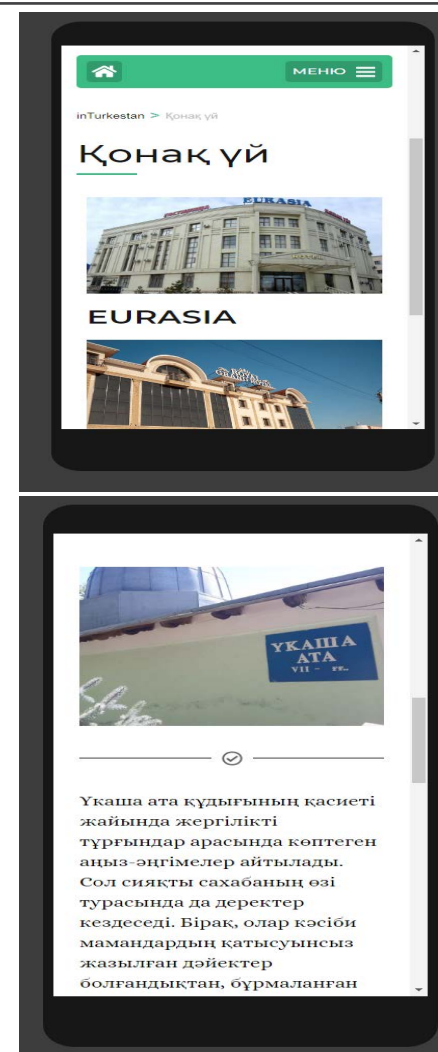
Сурет 2 – Саяхаттың бағаларын біліп оны брондау

Бұл жүйені жасау барысында біз Railways.kz, Aviata.kz, Kaspi.kz секілді еліміздегі ірі компаниялардың API құралдарын пайдаландық, ол жерде туындаған мәселелерді біз сол компанияларға байланысқа шығу арқылы оңай шеше білдік [5, 6]. Бұл жүйеде қолданған қолданушылар үшін жасалған дизайнерды, Wordpress орнату арқылы жасап шықтық.

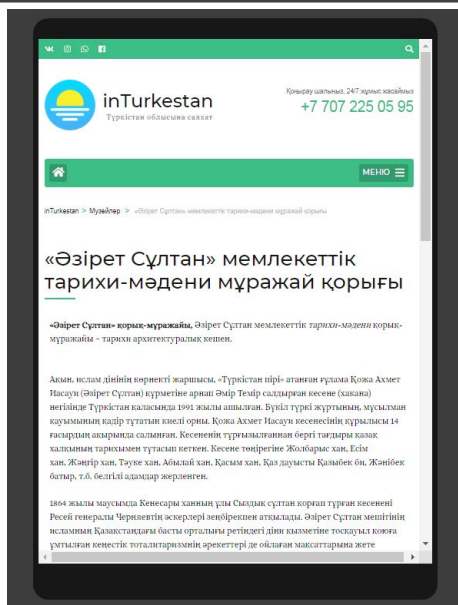
Тәжірибе барысында жұмысымыз локальды серверде жұмыс жасады, кейін «Арман тур» туристік орталығы Хостинг және домен алуына байланысты жұмыстың барлығы онлайн режиміне көшті [7, 8]. Администратор бөлімі арқылы кез-келген мәселені шеше алатын боламыз. Алдағы уақытта тек Түркістан облысын ғана емес Қазақстанның барлық тарихи орындарына саяхат жасау үшін өзгерістерді Администратор бөлімінде жасай береміз. Бұл ақпараттық жүйені жасау үшін бізге екі бөлік керек болды, бірінші ол қолданушы беті болса екіншісі Администратор. Қолданушы тарапынан қандай да бір жұмыстар жүргізілгенін бақылау мақсатында Администратор бөлімін жасадық. Бұл жүйеде әзірге ешқандай ақаулықтар табылмады, егерде табылған жағдайда виртуалды хостинг ішінде немесе локальды серверге орнату арқылы жылдам шеше аламыз [9].

Бұл жұмысымызды біз Планшетник және Смартфон құрылғыларына да лайықтап жасап шықтық. Бұл жұмыс біздің қолданушыларға өз пайдасын тигізеді. Өйткені кез-келген қолданушы өзінің қалаған құрылғысын қолдана отырып жүйені қолдана алады [10].

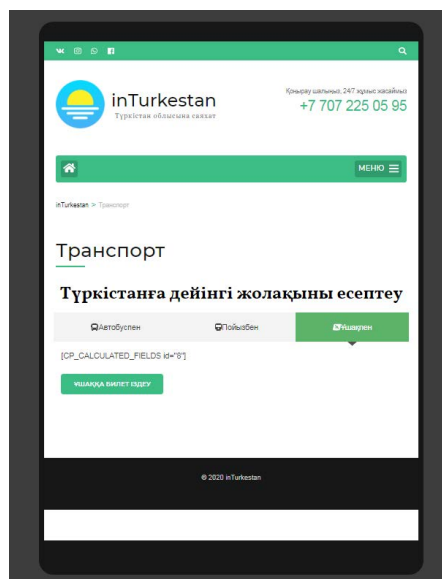
Бүгінгі таңда цифрландыру компаниядағы операциялық қызметтің тиімділігін арттырады және бизнес-процестерді автоматтандыру арқылы оны айтарлықтай жақсартуға болады деп сеніммен айта аламыз. Ұйым немесе туристік орталықтар қызметтерінің тиімділігін арттыру үшін құрылғыда цифрлық технологияны қолдану осы технологиялар кәсіпорнында өзара әрекеттесудің оңтайлы жоспарлауын қолдануға тікелей байланысты. Туристік орталықтарда жоспарлау дегеніміз – бұл орталықтың мақсаттарын анықтау және осы мақсаттарға жету үшін қажетті іс-әрекеттерді күту, сонымен бірге ресурстарды жоспарлауды олардың жұмысын ұйымдастырудың түпкілікті мақсатымен аяқталуы керек. Ресурстарды жоспарлау сарапшыларының, материалдардың, технологиялардың, операциялардың және тапсырыстардың үйлестіруі ретінде қарастыруға болады [12, 13].



Сурет 3 – Мобильді құрылғыларға арналған үлгі



Сурет 4 – Планшетник құрылғыларға арналған үлгі



Сурет 5 – Транспорт таңдау интерфейсі

## ҚОРЫТЫНДЫ

Тәжірибелер нәтижесінде авторлар «Арман тур» туристік орталықты жетілдіру саласында заманауи ақпараттық технологияларды қолдануды зерттеді. Нәтижелерді талдай отырып, тек Түркістан облысын ғана емес болашақта барлық Қазақстан аумағындағы тарихи орындарды барша әлемге паш етуді жоспарлады. Алдағы уақытта сәтті жүзеге асқан бұл жүйе өздігінен кеңейеді деп сеніммен айта аламыз. Тарихымызға сапар шегуді «Арман тур» туристік орталығымен бірлесе отырып жасайтын боламыз.

«Интернет» желілер жүйелері үшін өте мықты танымдық жігерлендіруге тән, сондықтан да бұл мен жасап жатқан WEB-сайтты XXI ғасырдың ақпараттық технологиялар бағытындағы барлық интернет қолданушылардың арасында тығыз байланыс жасауға, олардың ақпарат алу жолында құлшыныстарын арттыруға септігін тигізбей қоймайтынына кәміл сеніммен айта аламын. Әрине бұл диссертациялық жұмысым Қасиетті Түркістан қаласын барша жұртқа танытатын болғандықтан, халық үшін керемет бір ақпарат бере алады деген сенімдемін. Түркістан қаласының туризм саласына сәл де болсын артуына өз үлесімді қостым деген сенімдемін. Менің жасаған бағдарламам барша қолданушылар үшін түсінікті әрі жылдам жұмыс жасайды.

## ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 «Цифрлық Қазақстан» (Digital Kazakhstan) [Electronic resource]. – <https://digitalkz.kz/kz/o-programme/>.
- 2 **Popov, E., Mingaleva, Z.** The Digital Technologies for Improving the Operational Efficiency : Case of Russian Industry of Ferrous and Non-ferrous Metals Scrap / In: Antipova T. (eds) Integrated Science in Digital Age. ICIS 2019. – Lecture Notes in Networks and Systems. – Vol 78. – Springer, Cham, 2020.
- 3 **Costanzo, F. et al.** Enterprise Organization and Operation / In: Grote K. H., Antonsson E. (eds) Springer Handbook of Mechanical Engineering. Springer Handbooks. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- 4 **Liu, J., Cheng, Z., Zhong, N.** Development of China's Manufacturing Sector: Industry Research / In: Li L., Du Z. (eds) A Research Report on the Development of China's Manufacturing Sector (2016). Current Chinese Economic Report Series. Springer, Singapore, 2017.
- 5 **Shao, B. B. M., & Lin, W. T.** Assessing output performance of information technology service industries : Productivity, innovation and catch-up. International Journal of Production Economics. 2016. 172. – 43–53. [Electronic resource]. – doi:10.1016/j.ijpe.2015.10.026.

6 **Hoogervorst J.A.P.** The Importance of Practicing Foundational Insights in Enterprise Governance and Enterprise Engineering / In: Practicing Enterprise Governance and Enterprise Engineering. The Enterprise Engineering Series. Springer, Cham, 2018.

7 Official website of Kentau Transformer Plant. [Electronic resource]. – <http://ae-ktz.kz/>.

8 **David L. Goetsch, William Chalk, John A. Nelson.** Technical Drawing. – Delmar Publishers, 2000.

9 Ascon group. [Electronic resource]. – [http://ascon.net/solutions/kompas\\_3d](http://ascon.net/solutions/kompas_3d).

10 **Bermejo, B., Filiposka, S., Juiz, C., Gómez, B., Guerrero, C.** Improving the Energy Efficiency in Cloud Computing Data Centres Through Resource Allocation Techniques / In: Chaudhary S., Somani G., Buyya R. (eds) Research Advances in Cloud Computing. – Springer, Singapore, 2017.

11 Vangie Beal. [Electronic resource]. – <https://www.webopedia.com/TERM/A/API.html>.

12 **Shchekin, A. V., Sul'din, S. P. & Mitin, E. V.** Russ. Engin. Res. (2017) 37: 987. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.3103/S1068798X17110156>.

13 Official website of Microsoft. [Electronic resource]. – <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=25052>.

14 Official website of Microsoft. [Electronic resource]. – <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=1695>.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*Н. П. Сапарходжаев<sup>1</sup>, М. А. Абдисамат<sup>2</sup>*

**Информационная система дающая возможность путешествовать по историческим местам**

<sup>1,2</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан. Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*N. P. Saparkhojayev<sup>1</sup>, M. A. Abdisamat<sup>2</sup>*

**Information system that allows you to travel to historical places**

<sup>1,2</sup>A. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan. Material received on 04.06.20.

*В этой исследовательской работе была создана информационная система для мобильных и планшетных устройств для учета*

*расходов посещения исторических мест, музеев и мавзолеев Туркестанской области из любого города Казахстана, бронирование мест с предварительным заказом в гостиницах. В этой системе использованы алгоритмы выбора наиболее эффективных путей, сетевые технологии и программное обеспечение, максимально экономящее средства. Также разработана мобильная версия для любого пользователя (смартфон, планшетник, нетбук). Разработан специальный Web сайт, который решает проблемы туризма в Туркестанской области, связывает пользователей и цифровые технологии. Запущено меню с автоматическим подсчетом затрат на транспорт выезда из любого города Казахстана (областей и крупных городов).*

*In this research work, an information system was developed for recording expenses for visiting historical sites, museums and mausoleums in the territory of the Turkestan region, booking places with pre-order hotels and, most importantly, for mobile and tablet devices. This system uses algorithms for choosing the most effective ways and network technologies and software that save money as much as possible. A mobile version has also been developed for any user (smartphone, tablet, netbook). A special Web site has been developed that solves the problems of tourism in the Turkestan region, connects users and digital technologies. Launched a menu with automatic calculation of transport costs for departure from any city in Kazakhstan (regions and major cities).*

**Н. К. Смайлов<sup>1</sup>, С. Ж. Көшкінбаев<sup>2</sup>,  
М. Ж. Кошкинбаева<sup>3</sup>, Ж. Б. Адыбаев<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор PhD, сениор-лектор, Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева, Satbayev University, г. Алматы, 050057, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>докторант, Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева, Satbayev University, г. Алматы, 050057, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., ст. преподаватель, Университет Мирас, г. Шымкент, 160017, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>магистрант, Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева, Satbayev University, г. Алматы, 050057, Республика Казахстан  
e-mail: <sup>1</sup>Nur\_aly.kz@mail.ru; <sup>2</sup>sauke49@mail.ru;

<sup>3</sup>koshkinbaeva.m@miras.edu.kz; <sup>4</sup>jaras.adybaev@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ**

*В данной статье рассмотрены оптические трансформаторы тока и напряжения, о том по какому принципу они работают и какими сильными и слабыми сторонами обладают оптические силовые трансформаторы. Согласно общей стратегии развития всей энергосистемы нашей страны довольно скоро все подстанции должны реконструировать под цифровой формат. А для этого требуется заменить старые (но при этом надежные) аналоговые силовые трансформаторы, трансформаторы тока и трансформаторы напряжения на их цифровой аналог.*

*Ключевые слова: оптические силовые трансформаторы, оптические трансформаторы тока и напряжения, оптический приемник, поляризатор, поляризованный световой сигнал.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

За последнее десятилетие термин «аналог» стал синонимом слова «устаревший». С одной стороны, это звучит оскорбительно и даже несправедливо по отношению к надежным, проверенным годами технологиям. Однако, когда речь идет о повышении точности измерительных инструментов

и их интеграции в единую сеть мониторинга и управления технологическими процессами, потенциал, доступный для аналогового оборудования, становится явно недостаточным. Одним из решений являются оптоволоконные трансформаторы, которые работают на основе эффекта Фарадея, эффекта, открытого одновременно с законом электромагнитной индукции, но ожидающего технологий, которые могут эффективно его использовать.

Использование оптических методов измерения тока позволяет получать измеренные значения сразу в цифровом виде, а применяемая схема измерения напряжения позволяет значительно повысить точность измерений и уменьшить погрешности. Внедрение этих электронных трансформаторов на энергообъектах обеспечит измерительную технологию на качественно новом уровне, приблизив такие возможности к полному переходу на цифровую подстанцию и технологию Smart Grid.

В настоящее время актуальным является поиск альтернативы традиционным измерительным трансформаторам, которые представляют собой волоконно-оптические электронные трансформаторы тока и электронные трансформаторы напряжения на основе емкостного или неиндуктивного резистивного высоковольтного делителя напряжения.

На самом деле причина, по которой вам нужно заменить оборудование, довольно банальна. Довольно сложно интегрировать аналоговые ТТ и ТН в единую сеть мониторинга и управления, и точность измерений больше не соответствует современным стандартам и требованиям. Поэтому замена аналоговых преобразователей на оптические – это вопрос времени [1–2].

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

**Почему нужно менять аналоговое оборудование?**

На самом деле причина, по которой вам нужно заменить оборудование, довольно банальна. Довольно сложно интегрировать аналоговые ТТ и ТН в единую сеть мониторинга и управления, и точность измерений больше не соответствует современным стандартам и требованиям. Поэтому замена аналоговых преобразователей на оптические – это вопрос времени и средств.

Принцип работы оптических ТТ и ТН основан на использовании эффекта Фарадея, согласно которому при распространении линейно-поляризованного света, находящегося в магнитном поле наблюдается вращение плоскости поляризации света. (рисунок 1.) И использовании эффекта Погкельса, согласно которому происходит изменение угла преломления и поляризации под непосредственным воздействием электрического поля.

Если сказать совсем просто, то в зависимости от угла отклонения луча электроника высчитывает протекающий ток с учетом всех существующих погрешностей.

В большинстве случаев оптические ТТ представляют собой оптическую колонну, внутри которой располагаются: оптический сенсор, который представляет из себя фиксированное количество витков оптоволокон. Они размещены перпендикулярно шине и по ней проходит первичный ток. При этом нет никакого физического контакта шины и сенсора. Далее волокна проходят через полимерный изолятор на оптический кросс (размещенный в нижней полости колонны). И все, во внешней колонне больше ничего нет [3–4].

Затем сигнал передается в цифровом виде по общей шине на электронный блок, который установлен на ОРУ.

Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения ЭПР-ме-35,100 предназначен для масштабного преобразования мгновенных значений высоких переменных и импульсных напряжений в пропорциональные значения низкого напряжения. Он основан на использовании электрооптического эффекта электроаспирации.



Рисунок 1 – Принцип работы оптических ТТ и ТН основан на использовании эффекта Фарадея

Эффект электрогирации проявляется в появлении оптической активности центрально-симметричных кристаллов под влиянием напряженности электрического поля измеряемого напряжения.

Метод использует магнитооптический эффект Фарадея и подробно описан в различных источниках. Вкратце метод может быть описан следующим образом: в период специального магниточувствительного оптического волокна (так называемого Ni-Bi Spin-волокна) через оптоволоконные аналоговые четвертьволновые пластины вводятся для двух световых волн с ортогональной поляризацией, так что они приобретают круговую поляризацию противоположного вращения, которую этот тип волокна способен поддерживать. Входные световые волны модулируются по фазе с достаточно высокой частотой (40–60 кГц). Если в проводнике, вокруг которого намотана петля из этого световода, нет тока, то эти световые волны распространяются с одинаковой скоростью и поступают на вход схемы измерения с нулевым

фазовым сдвигом. Если в проводнике появляется ток, а вокруг этого проводника имеется магнитное поле, то скорость распространения этих световых волн будет отличаться из-за эффекта Фарадея. В результате в приемнике происходит относительный фазовый сдвиг для световых волн, исходящих от чувствительного волокна, который пропорционален величине магнитного поля вокруг проводника и, соответственно, величине тока в проводнике. Таким образом, текущая проблема измерения сводится к точному измерению фазового сдвига между световыми волнами.

Для измерения значений этих фазовых сдвигов в оптических трансформаторах тока и напряжения используется метод отражательного волоконного интерферометра, поскольку это наиболее разработанная и стабильная схема измерения, которая обеспечивает автоматическую компенсацию большинства внешних воздействий на пути измерения. Как упоминалось ранее, световые волны модулируются модулятором двойного лучепреломления, поэтому выходной сигнал интерферометра представляет собой сумму гармоник частот модуляции, а амплитуды этих гармоник пропорциональны величине протекающего тока. Это гарантирует, что расчет фазового сдвига не зависит от изменений параметров оптической схемы (мощность света на фотоприемнике, амплитуда модуляции и т.д.). Все это позволяет обеспечить высокую точность измерений в широком диапазоне изменения значений первичного тока в проводнике.

Специальное термостойкое оптическое волокно, используемое в измерительных элементах оптических трансформаторов, обеспечивает высокую стабильность свойств в диапазоне температур до 100°C (интегральный разброс показаний в этом температурном диапазоне составляет около 1%), а в реальном температурном диапазоне от -60 до +60°C обеспечивает погрешность измерения в соответствии с требованиями к измерительным приборам класса точности 1.

Для обеспечения точности измерений в соответствии с требованиями класса точности измерений 0,2 с (расширенный диапазон в области малых погрешностей) в приборах используется метод цифровой компенсации погрешности температуры при малых значениях токов. Для этого текущая программа расчета учитывает температурную зависимость чувствительности. Процессор сигналов считывает сигнал каждую секунду в режиме онлайн, который пропорционален температуре, измеренной оптоволоконным термометром, который расположен рядом с основным чувствительным волокном. На основании считанных сигналов процессор вычисляет значение тока в шине с учетом влияния температуры на чувствительный элемент. Надежность компенсации, описанной выше, обусловлена тем фактом, что температурная зависимость чувствительности имеет фундаментальный физический характер и не может изменяться со временем.

Преимущества и недостатки оптических ТТ и ТН

По сравнению с аналоговыми преобразователями оптические ТТ и ТН обладают следующими преимуществами:

Плюсы

1 Достаточно широкий канал измерений при высокой термической и электродинамической стойкости.

2 Высокая линейность.

3 Полное отсутствие таких явлений как: насыщение, гистерезис, остаточного и необратимого изменения параметров после перегрузки (Короткого замыкания).

4 Отсутствует резонанс.

5 Широчайший частотный диапазон, который позволяет выполнять анализ гармоник напряжения и тока в высоковольтной цепи [1–2].

6 Полностью исключено воздействие нагрузки вторичных цепей и потерь в них.

7 Повышенная устойчивость оптоволоконных каналов к внешним электромагнитным помехам.

8 Меньший вес и габарит по сравнению с аналоговыми образцами.

9 Так как в конструкции нет ни масла, ни газа, ни бумаги, то такие ТТ обладают повышенными показателями безопасности.

Минусы

Пожалуй, единственным минусом можно назвать пока еще довольно высокая стоимость этих изделий. Но, а в дальнейшем все недостатки будут выявлены только в процессе опытной эксплуатации.

Структура датчика, содержащий магниточувствительное оптическое волокно приведена на рисунке 2.

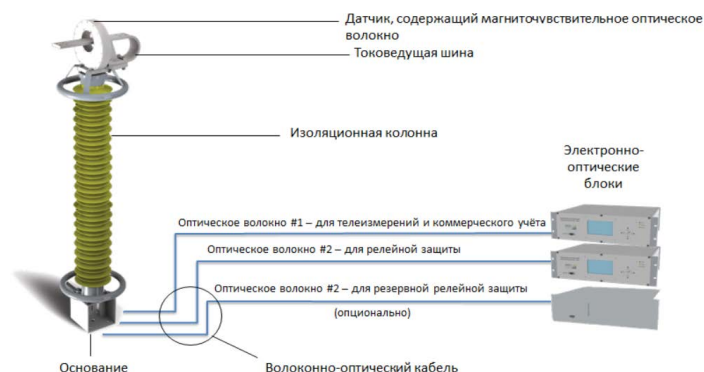


Рисунок 2 – Структура датчика, содержащий магниточувствительное оптическое волокно

При этом удаленность самого оптического ТТ от блока электроники не должно превышать расстояние в 1300 метров.

Действительно, в классических конструкциях трансформаторов, есть базовая ошибка трансформатора и ряд дополнительных ошибок, которые возникают из-за наличия гармоник, нагрузки вторичных цепей, их взаимного влияния, а также температуры. Электронные трансформаторы тока и напряжения являются трансформаторами с компенсацией ошибок. Для потребителя это означает, что трансформаторы имеют только базовую точность, а все факторы учитываются в электронике и автоматически компенсируются так, что во всем рабочем диапазоне влияющих факторов трансформатор находится в заданном классе точности. Поддержание указанных характеристик обеспечивается не только программным обеспечением, но и самой конструкцией. Основные особенности структуры измерительной части будут описаны ниже [3–7].

В конструкции электронных трансформаторов тока и напряжения есть две основные части:

1 Внешний, где чувствительный оптический элемент жестко закреплен на колонку с поддержкой изоляции соединительного оптическим кабелем;

2 Внутренний, состоящий из блока электроники.

Внешняя часть электронных трансформаторов обычно устанавливается на открытой части распределительных устройств, на входах генераторов, а также может быть интегрирована практически в любую сетевую инфраструктуру, не меняя ее за очень короткое время. Во время работы внешняя часть может подвергаться воздействию температур в диапазоне от -60 до + 60°C, в то время как рабочий диапазон температур окружающей среды для электронного блока составляет -10 ... + 40°C, и устройство находится в комнате с оборудованием одного типа (устройства RZA и PA, ACS и т.д.). Конструкция электронных блоков трансформаторов тока и напряжения не требует дополнительной температурной компенсации [8–11].

Внешняя часть электронного трансформатора напряжения не требует температурной компенсации, поскольку емкостный делитель напряжения выполнен в виде единого высоковольтного конденсатора, который изготовлен из одного и того же материала в процессе производства, и является главной задачей как разработчика и производитель должен гарантировать, что точность соотношения емкости емкостного делителя сохраняется. Технология изготовления делителей обеспечивает надежную работу в указанном температурном диапазоне и стабильность характеристик, а при необходимости позволяет обеспечить необходимую компенсацию температурного коэффициента емкости (ТСЕ), который легко обеспечивается в требуемом температурном диапазоне. При использовании резистивных



делителей используются специальные высокостабильные резисторы с очень малым коэффициентом температурной зависимости и высокой повторяемостью [12–13].

### ВЫВОДЫ

Несомненно, за оптическими измерительными приборами будущее и наступит то время, когда абсолютно все станции и подстанции будут соединены в общую единую сеть. Но вот когда это время наступит неизвестно, хотя и существует план к 2030 году все подстанции перевести на цифру. В данной статье описаны основные характеристики и принцип работы оптических трансформаторов тока и напряжения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Физика / Большой энциклопедический словарь. – М. : Большая российская энциклопедия, 2009.

2 **Палей, Э., Аношин, О.** Электротехнический рынок России. Застой или временная передышка? Итоги выставки «Электрические сети России – 2006» // Новости ЭлектроТехники. – 2006. – № 6.

3 **Некрашевич, Е., Старостин, Н.** Волоконно-оптические датчики тока // Электронные компоненты. – 2006. – № 11.

4 **Зырянова, С.** Единая сеть – единая страна // газета «Новые Контакты». – 2007. – № 12.

5 ООО «Уникальные Волоконные Приборы» [Электронный ресурс]. – www.ufdgroup.ru

6 Элементарный учебник физики / под ред. акад. Г. С. Ландсберга. Т. 3. – М. : Наука, 2010.

7 **Яворский, В. М., Пинский, А. А.** Основы физики. – Т. 2. – М. : Наука, 2012.

8 **Скляров, О. К.** Волоконно-оптические сети и системы связи / О. К. Скляров. – М. : Лань, 2010. – 272 с.

9 Рассел, Джесси Волоконно-оптическая связь / Джесси Рассел. – М. : Книга по Требованию, 2013. – 104 с.

10 **Родина, О. В.** Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство / О. В. Родина. – М. : Горячая линия – Телеком, 2009. – 404 с.

11 **Семенов, А. Б.** Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / А. Б. Семенов. – М. : ДМК Пресс, Компания АйТи, 2014. – 632 с.

12 **Семенов, А. Б.** Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / А. Б. Семенов. – М. : Книга по Требованию, 2007. – 632 с.

13 **Сипсер, Р.** Архитектура связи в распределенных системах / Р. Сипсер. – М. : Мир, 2012. – 744 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Н. К. Смайлов<sup>1</sup>, С. Ж. Көшкінбаев<sup>2</sup>, М. Ж. Кошкинбаева<sup>3</sup>, Ж. Б. Адыбаев<sup>4</sup>*  
**Оптикалық қуатты трансформаторлардың функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және оптикалық ток пен кернеу трансформаторларын математикалық модельдеу**

<sup>1,2,4</sup>Қ. И. Сәтбаев университеті,

Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>Мирас университеті,

Шымкент қ., 160017, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*N. Smailov<sup>1</sup>, S. Zh. Koshkinbayev<sup>2</sup>, M. Zh. Koshkinbayeva<sup>3</sup>, Zh. B. Adybayev<sup>4</sup>*  
**Research of the functionality of optical power transformers and mathematical modeling of optical current and voltage transformers**

<sup>1,2,4</sup>Satbayev University,

Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Miras University,

Shymkent, 160017, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Бұл мақалада оптикалық ток пен кернеу трансформаторлары, олар қандай принцип бойынша жұмыс істейтіндігі және оптикалық трансформаторлардың күшті және әлсіз жақтары қарастырылады. Біздің еліміздің бүкіл энергетикалық жүйесін дамытудың жалпы стратегиясына сәйкес жақын арада барлық қосалқы станцияларды сандық форматқа қайта құру қажет. Ол үшін ескі (бірақ сенімді) аналогтық қуат трансформаторларын, ток трансформаторларын және кернеу трансформаторларын сандық контроллерімен ауыстыру қажет.*

*This article discusses optical current and voltage transformers, on what principle they work and what strengths and weaknesses optical power transformers have. According to the general development strategy of the entire energy system of our country, pretty soon all substations should be reconstructed to a digital format. And for this, it is necessary to replace the old (but reliable) analog power transformers, current transformers and voltage transformers with their digital counterpart.*

**И. Э. Сулейменов<sup>1</sup>, С. Т. Байпакбаева<sup>2</sup>,  
Э. Е. Копишев<sup>3</sup>, В. Н. Евстифеев<sup>4</sup>, Г. А. Мун<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>д.х.н., профессор, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.х.н., и.о. доцента, Евразийский университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан,

<sup>4</sup>магистрант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан,

<sup>5</sup>д.х.н., профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>esenych@yandex.ru; <sup>2</sup>saltanat.baipakbayeva@gmail.com;

<sup>3</sup>eldar\_kopishev@mail.ru; <sup>4</sup>saltanat.baipakbayeva@gmail.com;

<sup>5</sup>mungrig@yandex.ru

## **СКАЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЕЗИНФЕКЦИИ И ОЧИСТКИ ВОЗДУХА**

*В работе заложены основы теории управления движением поляризуемых частиц под воздействием радиоизлучения микроволнового диапазона. Движение частиц обеспечивается воздействием диэлектрфоретической силы, которая возникает в неоднородных электрических полях вследствие приобретения частицей ненулевого дипольного момента. Значительная напряженность полей микроволнового диапазона (порядка 10 кВ/см), развивающихся в типовых устройствах, использующих СВЧ-технику, позволяет реализовать поля-ловушки, захватывающие поляризованные частицы, и способные обеспечить их транспортировку за счет перестройки конфигурации поля во времени. Данный метод обеспечивает удаление поляризованных частиц из воздуха, в том числе, микрокапель воды и других агрегатов в состав которых входят вирусы, являющиеся по своей физико-химической природе гидрофильными интерполимерными комплексами, что приобретает особую актуальность в свете возможного повторения вспышек коронавирусных инфекций мутагенного происхождения. Для реализации данного метода очистки и дезинфекции воздуха необходимы расчетные*

*средства, позволяющие определять нужный характер распределения электромагнитного поля в пространстве и его изменений во времени. В работе показано, что такие расчетные средства могут быть реализованы на основе обобщенной Фурье-оптики, позволяющей решить ряд краевых задач математической физики без использования функций Грина и фундаментальных решений соответствующих уравнений. Разработаны вычислительные средства, позволяющие описывать преобразование изучения, выполняемого дифракционными элементами, вставляемыми внутрь волноводных систем, методом, аналогичным используемым в Фурье-оптике. Данные средства позволяют определить дискретный спектр пространственных частот преобразованного излучения по известной функции пропускающей фазировочного элемента, принцип действия которого может быть основан на управляемом изменении показателя преломления среды, на явлениях поляризации под воздействием внешнего электрического поля и т.д.*

*Ключевые слова: коронавирусная инфекция, диэлектрфоретическая сила, потенциальная яма, микроволновое излучение, движение частиц, дезинфекция, очистка, поляризуемые частицы, Фурье-оптика.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В работе [1] был предложен новый принцип дезинфекции и очистки воздушных потоков. Данный принцип основан на воздействии диэлектрфоретических сил на поляризуемые частицы [2, 3]. Данная сила возникает вследствие того, что на поляризуемую частицу, у которой во внешнем электрическом поле возникает дипольный момент действует ненулевая сила тогда, когда поле является неоднородным. Как отмечается в [4, 5] практическое значение диэлектрфореза связано с возможностью манипулирования поляризуемыми частицами (их перемещение в пространстве, разделение, фиксация и т.д.). Фактически в работе [1] те же приемы было предложено перенести на газовую фазу за счет использования неоднородных электрических полей.

Неоднородные поля значительных амплитуд могут быть созданы сравнительно простым способом в резонаторах различной геометрии; так в [6] для дезинфекции молока предлагалось использовать СВЧ-технику, обеспечивающую формирование полей напряженностью порядка 10 кВ/см. Для наглядности можно также упомянуть тот факт, что поля, создаваемые магнетронами в микроволновых печах, обеспечивают разогрев продуктов питания до высоких температур.

Использование диэлектрофоретической силы позволяет существенно снизить мощность, необходимую для обеспечения дезинфекции, за счёт того, что вместо разогрева воздуха до температур, при которых погибают возбудители инфекций, существует возможность обеспечить их перемещение в сравнительно малые области пространства, где происходит дезинфекция.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В цитированной работе [1] был предложен принцип создания полевых ловушек, который обеспечивает транспортировку поляризуемых частиц из объема обрабатываемого воздуха в определённые локальные участки среды. Такая полевая ловушка фактически представляет собой потенциальную яму, в которую попадает частица; если местоположение этой потенциальной ямы изменяется в пространстве, то тогда любые поляризуемые частицы (в том числе и микрокапли воды, в состав которых входят переносчики инфекционных заболеваний) могут транспортироваться из одной области пространства в другую.

Вектор диэлектрофоретической силы  $\vec{F}_d$  дается выражением [5, 7]

$$\vec{F}_d = \alpha \vec{\nabla} E^2 \quad (1)$$

где  $\alpha$  – поляризуемость частицы;  $E$  – модуль напряженности электрического поля;  $\Delta = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$  – оператор Лапласа.

Выражение (1) показывает, что диэлектрофоретическая сила возрастает по мере увеличения степени неоднородности поля, а потенциалом для нее фактически является величина, пропорциональная объемной плотности энергии электрического поля. Поляризуемые частицы в неоднородном поле будут концентрироваться в тех областях, где данная величина минимальна.

Следовательно, возникает задача по обеспечению создания полей с максимальной степенью неоднородности.

Как хорошо известно из классической оптики – максимальная неоднородность электромагнитного поля создается в фокальных точках. Несколько упрощая, можно сказать – так максимальную неоднородность поля создает любая линза, которая фокусирует электромагнитное излучение в определенной точке пространства. Достаточно легко показать, что в этом случае производные квадрата напряженности электрического поля по пространству действительно достигают максимума. Впрочем, это видно и невооруженным глазом в рамках любого самого простого опыта, когда линза фокусирует излучения солнца на определённую плоскость.

Иными словами, для того, чтобы реализовать подход, предложенный в [1], нужна некая комбинация тех методов, которые ранее были использованы

в оптике и тех методов, которые существуют в волноводной/резонаторной технике. Нужно обеспечить фокусировку излучения, развивающегося внутри волноводной системы в определенной точке пространства. Иными словами, речь идёт о том, чтобы вовнутрь волноводов вставить определенный фокусирующий элемент, играющий роль линзы.

Уместно подчеркнуть, что в последние годы появилось довольно большое количество работ, которые можно рассматривать как выполненные на стыке оптики и теоретической радиофизики. Существуют изобретения, в которых предлагается использовать те или иные аналоги линз для манипуляций с излучением радиочастотного диапазона [8, 9]. Существуют также многочисленные работы, в которых предлагается использовать фазированные антенные решетки для того, чтобы обеспечить узконаправленную передачу радиосигнала [10, 11].

В этом смысле вопрос о том, чтобы комбинировать методы оптики и методы радиофизики не представляется чем-то экстравагантным. Более того, речь фактически идёт о том, что для создания полевых ловушек, предложенных в [1], фактически нужно вставить внутрь волноводной или резонаторной системы некий аналог линзы, который обеспечит фокусировку излучения в определенной точке пространства и тем самым обеспечит захват поляризуемой частицы.

Очевидно, что фокусировка излучения должна быть перестраиваемой, поскольку речь идет о явлениях, призванных обеспечить очистку воздуха от поляризуемых частиц. Однако, если рассуждать с максимально общих позиций это не меняет сути дела. В любом случае для того, чтобы реализовать подобного рода системы прежде всего необходимо развить некий аналог методов теоретической оптики, который бы позволял описывать фокусировку электромагнитного излучения, развивающегося внутри волноводных и резонаторных систем.

Итак, с некоторой долей условности можно утверждать, что речь идет о своего рода внутрирезонаторной оптике. Имеется классический волновод или резонатор, внутрь его вставляется тот или иной фокусирующий элемент, который призван обеспечить создание максимально неоднородного поля.

Очевидно, что наиболее простые элементы, которые могут быть проанализированы существующими теоретическими методами, являются плоскими или теми, которые могут быть редуцированы к плоским с точки зрения математического описания. Существование элементов, которые могут быть редуцированы к плоским, доказываемая в рамках классической Фурье-оптики, где линза заменяется бесконечно-тонким фазовым растром [12, 13].

Такой подход представляется более чем оправданным с точки зрения возможности развить последовательное теоретическое описание наиболее простыми средствами.

Это связано с тем, что уравнение Гельмгольца решается точно только для отдельных частных случаев, в которых поверхности (например, стенки резонаторов), обладают геометрией, отвечающей одной из систем ортогональных координат (вообще говоря, криволинейных), допускающих разделение переменных.

Наиболее простой разновидностью такой системы координат являются декартовы координаты. Уравнение Гельмгольца допускает разделение переменных также в сферических координатах, цилиндрических и некоторых других. Если же геометрия используемого резонатора не соответствует ни одной из известных систем координат, допускающих разделение переменных в волновом уравнении, то приходится использовать те или иные приближения.

Классическая Фурье-оптика на основе, в том числе, эвристических соображений редуцирует фокусирующий элемент к плоскому. В частности, как отмечалось выше, речь идёт о том, что двояковыпуклая или иная линза заменяется соответствующим фазовым растром, который предполагается бесконечно тонким.

Из сказанного выше вытекает вполне определенная постановка задачи на описание работы фокусирующих или иных элементов, вставленных внутрь волноводной или резонаторной системы. По существу, вывод базовых формул, представленный в данной работе, отвечает схеме, которая была использована при построении аппарата обобщенной Фурье-оптики [14–17]. Подчеркиваем, что аппарат обобщенной Фурье оптики (хотя он и носит такое название) в действительности представляет собой метод решения краевых задач математической физики, ориентированных на описание распространения волновых возмущений в тех или иных средах.

На сегодняшний день наиболее распространенным методом описания распространения излучения (шире – волновых возмущений) является метод, основанный на использовании функций Грина (фундаментальных решений соответствующих уравнений в частных производных [18]. В соответствии с этой методологией рассматривается точечный источник излучения, который создаёт вполне определенное поле, отвечающее частному решению волнового уравнения. Далее используется теорема Грина, которая позволяет выразить поле в данной конкретной точке через граничные условия. Физически это соответствует тому, что поле в данной конкретной точке воссоздается на основании информации о распределении поля, созданного во вполне определенной опорной плоскости/поверхности.

Однако, как показано в работах [14–17], данный метод является отнюдь не единственным методом решения краевых задач математической физики. С таким же успехом (особенно если речь идет о решении задач плоской

геометрии) можно использовать и другие решения при подстановке в теорему Грина.

Это позволяет установить спектр пространственных частот (СПЧ) волнового возмущения на отдельно взятой плоскости/поверхности и далее реконструировать возмущение с использованием преобразования Фурье.

Как показано в данной работе, аналогичным методом можно воспользоваться и для описания фокусирующих элементов, вставленных внутрь волновода или резонатора, если использовать разложение по базисным функциям той задачи, которая естественным образом связана с геометрией данного конкретного волновода или резонатора.

Основой аппарата обобщенной Фурье-оптики является теорема Грина

$$\int_{\Omega} (u \nabla^2 v - v \nabla^2 u) dv = \int_{\partial \Omega} (u \vec{\nabla} v - v \vec{\nabla} u) d\vec{S}. \quad (2)$$

Данное соотношение справедливо для любых дифференцируемых функций  $u$  и  $v$ , заданных в области  $\Omega$ . Теорема Грина позволяет связать значения функций внутри замкнутой области через значения функции и его нормальной производной на ее границе  $\partial \Omega$ .

Для оператора Гельмгольца  $\hat{L}$

$$\hat{L} = \nabla^2 + k^2 \quad (3)$$

справедливо аналогичное соотношение, непосредственно вытекающее из (2)

$$\int_{\Omega} (u_1 \hat{L} u_2 - u_2 \hat{L} u_1) dV = \int_{\partial \Omega} (u_1 \frac{\partial u_2}{\partial n} - u_2 \frac{\partial u_1}{\partial n}) dS \quad (4)$$

В рамках скалярной теории электромагнитного излучения [19] в любой точке однородной среды в областях, в которых отсутствуют источники излучения, вещественная функция  $u(\vec{r}, t)$ , описывающая электромагнитное возмущение, удовлетворяет скалярному однородному волновому уравнению

$$\Delta u - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

где  $V = c/n$  – скорость света в среде;  $c = 299776 \pm 4$  км/с – скорость света в вакууме;  $n$  – показатель преломления.

В скалярной теории с функцией  $u(\vec{r}, t)$  отождествляется одна из двух взаимно перпендикулярных декартовых компонент  $E_x(\vec{r}, t)$  и  $E_y(\vec{r}, t)$  электрического поля, колеблющихся в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Скалярная теория не позволяет

учесть любые явления, связанные с поляризацией, а также некоторые тонкие дифракционные эффекты. Однако для многих практических приложений данное приближение удовлетворительно описывает экспериментальные результаты. Применительно к рассматриваемой задаче использование скалярного приближения представляется оправданным, поскольку речь идет об отыскании неоднородностей скалярной функции – квадрата напряженности электрического поля, играющего роль потенциала для поляризуемых частиц.

Таким образом, монохроматическое электромагнитное колебание в рамках скалярной теории описывается уравнением Гельмгольца

$$\vec{\nabla}^2 u + k^2 u = 0 \tag{6}$$

где  $k$  – волновое число.

Отталкиваясь от соотношения (4) можно развить аналог обобщенной Фурье-оптики, предназначенный для описания работы элементов, вставляемых внутрь резонатора или волновода, и предназначенных для обеспечения перестраиваемой фокусировки микроволнового излучения.

В том случае, когда функции  $u_1$  и  $u_2$  являются решениями волнового уравнения левая часть формулы (4) обращается в ноль, откуда:

$$\int_{\partial\Omega} (u_1 \vec{\nabla} u_2 - u_2 \vec{\nabla} u_1) d\vec{S} = 0 \tag{7}$$

Для волноводных систем естественным является следующее граничное условие

$$u_{1,2} |_{\partial\Omega} = 0 \tag{8}$$

Физически оно отвечает полному отражению микроволнового излучения от металлических стенок волновода или резонатора.

Как известно, такое граничное условие приводит ко вполне определенным ограничениям на спектр пространственных частот колебаний, развивающихся внутри резонатора или волновода (спектральная задача математической физики).

В частности, для волновода прямоугольного сечения решения уравнения (6) могут быть записаны в виде

$$u = \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) Z(z) \tag{9}$$

где  $a$  и  $b$  – линейные размеры поперечного сечения волновода (выбор системы координат показан на рис. 1);  $Z(z)$  решение одномерного волнового уравнения

$$\frac{d^2}{dz^2} Z(z) + k_{m,n}^2 Z(z), \tag{10}$$

$$k_{m,n}^2 = k^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2. \tag{11}$$

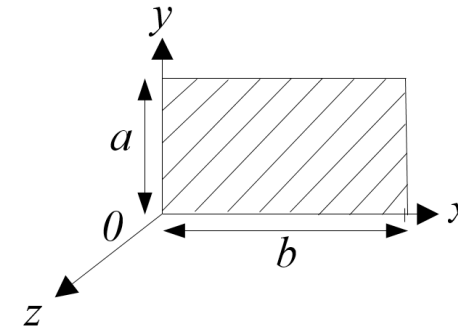


Рисунок 1 – К выбору системы координат

Соотношение (11), в том числе, указывает, что незатухающие волны могут развиваться в волноводе прямоугольного сечения только при выполнении условия

$$k^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \geq 0 \tag{12}$$

Решение уравнения (10) можно использовать и в комплексной форме.

$$Z_{m,n}^{\pm} = \exp(\pm i k_{m,n} z) \tag{13}$$

Подставляя соотношение (13) в выражение (9), получаем

$$u_{m,n}^{\pm} = \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \exp(\pm i k_{m,n} z) \tag{14}$$

Набор исчерпывает возможные незатухающие колебания, которые могут возникнуть в волноводе прямоугольного сечения при выполнении граничного условия (8).

Следовательно, допустимо говорить о дискретном спектре пространственных частот колебаний, которые могут развиваться в

рассматриваемой системе. Любое колебание рассматриваемого типа может быть представлено в виде суперпозиции решений вида (14)

$$u(x, y, z) = \sum A_{m,n} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \exp(\pm ik_{m,n}z) \quad (15)$$

Отталкиваясь от аналогии с обобщенной Фурье-оптикой, можно утверждать, что рассматриваемая в данной работе задача сводится к отысканию метода, при помощи которого можно было бы отыскать дискретный спектр колебания на основе информации о распределении поля и его нормальной производной в некотором сечении волновода.

Подставим в формулу (7) вместо функции  $u_2$  выражение для решения, удовлетворяющего выбранным граничным условиям (14). При этом в качестве области  $\Omega$  выберем область, ограниченную стенками волновода и двумя плоскими сечениями.

Тогда можно записать следующее выражение.

$$\int_{S_1} (\pm ik_{m,n}u \cdot u_{m,n}^\pm - u_{m,n}^\pm \cdot \frac{\partial}{\partial z} u) dx dy = \int_{S_2} (\pm ik_{m,n}u \cdot u_{m,n}^\pm - u_{m,n}^\pm \cdot \frac{\partial}{\partial z} u) dx dy \quad (16)$$

где  $u$  – поле, развивающееся в рассматриваемом участке волновода (предполагается, что в нем отсутствуют какие-либо дополнительные элементы).

При выводе формулы (16) учтено, что и функция  $u$ , и все функции  $u_{m,n}^\pm$  удовлетворяют граничному условию (8), вследствие чего интеграл по части поверхности  $\partial\Omega$ , отвечающей стенкам волновода, обращается в ноль, т.е. интегрирование по сводится к интегрированию по двум плоским сечениям волновода. Переориентировав нормаль к части поверхности, отвечающей одному из этих сечений, получаем (16).

В соответствии с этой формулой и следуя логике построения аппарата обобщенной Фурье-оптики [14, 15], дискретный спектр пространственных частот монохроматического излучения, развивающегося в волноводе прямоугольного сечения, можно определить следующим образом.

$$A_{m,n}^\pm = \int_{S_0} \left\{ ik_{m,n}u \mp \frac{\partial}{\partial z} u \right\} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) dx dy \quad (17)$$

где  $S_0$  – сечение волновода при  $z = 0$ .

Существенно, что в данной формуле фигурирует как *распределение поля по плоскому сечению, так и распределение его нормальной производной.*

Данное обстоятельство отвечает тому факту, что по этим двум распределениям можно установить *две* ветви спектра пространственных частот, одна из которых отвечает излучению, распространяющемуся вдоль оси волновода  $Oz$ , а другая в противоположном направлении. Этому соответствует выбор знака плюс или минус при нормальной производной в формуле (17).

В соответствии с данным определением дискретного спектра пространственных частот, формулу (16) можно трактовать как преобразование спектра пространственных частот при переходе от одной плоскости к другой.

$$A_{m,n}^\pm \Big|_{Oxy} = e^{\pm ik_{m,n}z_0} A_{m,n}^\pm \Big|_{Ox'y'} \quad (18)$$

Данная формула (18) решает задачу об отыскании передаточной функции участка волновода. Можно записать:

$$Q^\pm(\vec{\xi}) = e^{\pm ik_{m,n}z_0} \quad (19)$$

что полностью согласуется с выражением, используемым в классической Фурье-оптике; отличие состоит только в том, что в данном случае речь идет не о непрерывном, но о дискретном спектре пространственных частот.

Полученные формулы, которые являются прямым аналогом формул, используемых в классической Фурье оптике, позволяют описать преобразование монохроматического излучения, выполняемого любыми дифракционными элементами, которые в оптике называются растровыми. Описание строится по следующей схеме. Предполагается, что плоскостной дифракционный элемент выполняет следующую операцию.

$$u_1(x, y) = T(x, y)u_0(x, y) \quad (20)$$

где  $u_0(x, y)$  – распределение поля, которое создавалось бы в плоскости раstra при его отсутствии,  $T(x, y)$  – функция пропускания раstra, которая, вообще говоря, является комплексной, т.е. позволяет учитывать набег фазы при прохождении через растр,  $u_1(x, y)$  – распределение поля, на основании которого вычисляется спектр пространственных частот преобразованного излучения.

Эта запись является обобщением соотношения, которое возникает при решении задачи дифракции в скалярном приближении методом восходящем к Кирхгофу.

Отталкиваясь от этой записи, можно предложить следующую методику отыскания характеристик дифракционных элементов обеспечивающих

формирование полей ловушек, предназначенных для создания систем, обеспечивающих удаление поляризованных частиц из воздуха. Данная методика отталкивается от заданного распределения поля, которое необходимо для того, чтобы создать поле-ловушку.

Пример расчёта, который показывает, что такого рода поля-ловушки действительно могут быть созданы показан на рис. 2.

На данном рисунке представлены зависимости квадрата напряженности электрического поля, полученного в рамках скалярной теории, от продольной координаты для распределения поля, спектр которого дается следующим выражением.

$$A = \sum_{m=1}^M A_{2m,0}^+ \quad (21)$$

Иначе говоря, предполагается, что рассматриваемое поле создано только чётными гармониками, причём отвечающими нулевому значению индекса  $n$ . Кривая (1) построена для случая, когда в системе возбуждаются три первые четные гармоники  $M = 3$ ; кривая (2) – 5 четных гармоник;  $M = 5$ . Видно, что в данном случае действительно формируется достаточно глубокая потенциальная яма, которая позволяет удерживать поляризованные частицы.

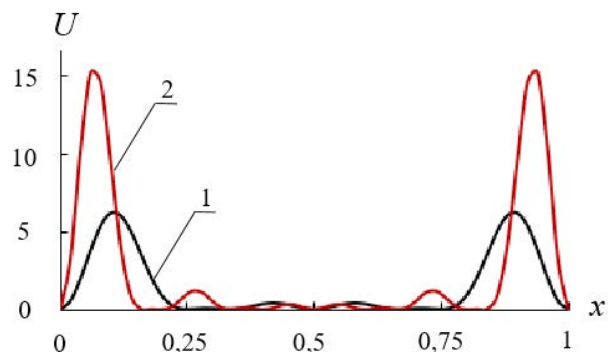


Рисунок 2 – Пример образования потенциальной ямы для диэлектрофоретической силы; 1 – поле синтезировано тремя гармониками, 2 – пятью.

Во всяком случае данный график однозначно показывает, что степень неоднородности электромагнитного поля может быть сделана весьма высокой за счёт интерференционных эффектов. Чем больше количество гармоник используется в такого рода разложении, тем глубже потенциальная яма, предназначенная для удержания частиц.

Разумеется, данный график относится только к одному сечению волновода, (для других сечений данная потенциальная яма окажется размытой), однако, полем такой конфигурации тем не менее можно пользоваться при условии, что обеспечивается движение данной потенциальной ямы вдоль оси  $Oz$ . Такая яма будет перемещать частицы в соответствии с той методикой о которой говорилось выше.

Зная требуемое распределение поля в рабочем сечении волновода и зная исходный спектр пространственных частот излучения, можно найти требуемое распределение коэффициента пропускания  $T(x,y)$  с учётом фазового набега растрового элемента. В наиболее грубом приближении это его можно отыскать через операцию деления. Разумеется, нужно принимать во внимание, что в данном случае существует вполне определенные ограничения на спектр пространственных частот излучения, развивающегося при дифракции внутри волновода. Но, следует также принять во внимание, что эту задачу не обязательно решать с высокой точностью. Конкретный профиль потенциальной ямы для поля-ловушки не так существенен. Важно, по существу, только обеспечить соответствующую глубину потенциальной ямы. Конкретный профиль поля здесь вторичен.

### ВЫВОДЫ

Таким образом существует возможность развить последовательное описание для преобразования спектра пространственных частот электромагнитного излучения, развивающегося внутри волновода. Этот подход позволяет отыскивать спектры пространственных частот излучения, которые формируют поля-ловушки, а также позволяет отыскивать распределение коэффициента пропускания (с учётом фазового набега) тех дифракционных (или редуцируемых к ним элементов), которые могут быть использованы для решения поставленной задачи.

Подчеркнем, что обсуждение методики создания фазовых преобразователей излучения выходит за рамки данной работы. Однако можно упомянуть, что для их реализации в настоящее время существует достаточно широкий спектр возможностей. Это вытекает в том числе и из того, что микроволновое излучение является таким же электромагнитным излучением, как и свет (то есть электромагнитные колебания, относящиеся к оптическому диапазону).

Следовательно, можно использовать любые элементы, вносящие соответствующий фазовый набег. Простейшим элементом такого типа очевидно является обычная линза, выполненная из того или иного диэлектрического материала. Однако существуют возможности и для реализации более сложных управляемых систем. В частности, речь может

идти об элементах, выполненных из гидрогеля по поверхности которого распространяются акустические колебания, имеющие период сопоставимый с периодом микроволнового излучения. В этом случае преобразования обеспечиваются за счёт дифракции. Допустимо также использовать и различного рода поляризационные эффекты (то есть эффекты, связанные с переориентацией молекул полимера под воздействием управляющего электрического поля). Элементы такого типа могут быть реализованы на основе того же самого принципа, что и существующие жидкокристаллические экраны.

Таким образом, задача, о которой говорилось в начале данной статьи (создание полей ловушек) является вполне решаемой и с точки зрения физики электромагнитных колебаний, развивающихся внутри резонатора, и с точки зрения создания управляющих элементов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Мун, Г. А., Евстифеев, В. Н., Байпақбаева, С. Т., Сулейменов, И. Э.** Новые подходы к разработке индивидуальных средств бактериологической защиты // Вестник Национальной инженерной академии РК, 2020, № 1, – С. 38–44.
- 2 **Gimsa, J.** Particle characterization by AC-electrokinetic phenomena: 1. A short introduction to dielectrophoresis (DP) and electrorotation (ER) // Colloids And Surfaces A-Physicochemical And Engineering Aspects. 1999. № 1–3 (149). – С. 451–459.
- 3 **Delgado, Á. V., Shilov, V. N.** Encyclopedia of Surface and Colloid Science. – V. 3. – New York : Taylor & Francis, 2006. – P. 2233.
- 4 **Zheng, L. F., Brody, J. P., Burke, P. J.** Electronic manipulation of DNA, proteins, and nanoparticles for potential circuit assembly // Biosensors & Bioelectronics. – 2004. – № 3 (20). – С. 606–619.
- 5 **Шилов, В. Н.** Диэлектрофорез наноразмерной частицы // Коллоидный журнал. – 2008. – Т. 70. – № 4. – С. 558–571.
- 6 **Пономарев, А. Н., Новикова, Г. В.** Установка для сверхвысокочастотного обеззараживания молока // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – 2011. – № 2(70) Ч.1. – С. 123–127.
- 7 **Brown, W. F.** Dielectrics. In: Dielectrics / Dielektrika. Encyclopedia of Physics / Handbuch der Physik, Vol. 4 / 17. – Springer, Berlin: Heidelberg Print, 1956. ISBN 978-3-642-45843-9. – P. 154.
- 8 **Миколенко, О. С.** Діелектрична резонаторна антена на основі усіченого конусу / О. С. Миколенко, В. І. Слюсар, І. І. Слюсарь // Новітні

інформаційні системи та технології – Modern information system and technologies [Електронний ресурс]. – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – № 8. – Режим доступу до журн.: <http://journals.pntu.edu.ua/mist>

9 **Слюсар, В.** Диэлектрические резонаторные антенны // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2007. – № 2. – С. 28–37; 2007. – № 4. – С. 89–95.

10 **Климов, К. Н., Фирсов-Шибяев, Д. О., Перфильев, В. В.** Геометрическая интерпретация синтеза квазиоптической распределительной системы для многолучевых фазированных антенных решеток // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60. – № 3. – С. 254–254.

11 **Вендик, О. Г., Калинин, С. А., Козлов, Д. С.** Фазированная антенная решетка с управляемой формой диаграммы направленности // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – № 10. – С. 117–121.

12 **Гудмен, Дж.** Введение в Фурье-оптику. – М. : Мир, 1970. – 364 с. (Переиздание : J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 3rd ed. (Roberts & Company, 2005).

13 **Steward, E. G.** Fourier optics : an introduction / Courier Corporation, 2004.

14 **Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A.** On the possibility of generalization of Fourier optics / Optics and spectroscopy. – 1994. – 76. – 893–898.

15 **Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A.** Generalized Fourier optics. I. Reflection of monochromatic radiation from mirrors of arbitrary shape / Optics and spectroscopy. – 1994. – 77(1). – 119–124.

16 **Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A.** Generalized Fourier optics : II. Application of the stationary phase method to the description of wavefront propagation and reflection / Optics and spectroscopy. – 1994. – 77. – 422–428.

17 **Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A.** Generalized Fourier optics : III. Description of the wave front reflection from nonplanar mirrors in terms of local curvature / Optics and Spectroscopy. – 1995. – 78(1). – 98–100.

18 **Владимиров В. С.** Уравнения математической физики. – М. : Наука, 1981. – 512 с.: ил. 4-е издание, исправленное и дополненное.

19 **Борн, М., Вольф, Э.** Основы оптики. – 1973.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*И. Э. Сулейменов<sup>1</sup>, С. Т. Байпақбаева<sup>2</sup>, Э. Е. Копишев<sup>3</sup>, В. Н. Евстифеев<sup>4</sup>, Г. А. Мун<sup>5</sup>*

**Дезинфекция және ауаны тазартуға арналған радиотехникалық жүйелердің скалярлық теориясы**

<sup>1,2,4</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;



<sup>3</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;  
<sup>5</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,  
Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*I. E. Suleimenov<sup>1</sup>, S. T. Baipakbaeva<sup>2</sup>, E. E. Kopishev<sup>3</sup>, V. N. Evstifeev<sup>4</sup>,  
G. A. Mun<sup>5</sup>*

### **The scalar theory of the radio engineering systems for disinfection and air purification**

<sup>1,2,4</sup>Almaty University of Power Engineering & Telecommunications,  
Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>L. N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>5</sup>al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада микротолқынды сәулеленудің әсерінен поляризацияланған бөліктердің қозғалысын басқару теориясының негізі қаланды. Бөліктердің қозғалысы бөліктің нөлдік емес дипольдік моментін алуы нәтижесінде біртектес емес электр өрістерінде пайда болатын диэлектрофоретикалық күштің әсерімен қамтамасыз етіледі. Қысқа толқындар технологиясының көмегімен стандартты құрылғыларда дамитын микротолқын диапазонының (10 кВ / см) маңызды өрістері поляризацияланған бөліктерді ұстап тұратын және уақыт өткен сайын өрістердің конфигурациясын қалпына келтіре отырып, оларды тасымалдауға қабілетті тұзақтарды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл әдіс ауадан поляризацияланған бөліктерді, соның ішінде табиғатта физика-химиялық және гидрофильді интерполимерлі кешендері болып табылатын судың микро тамшылары мен вирустары бар басқа агрегаттарды жойып тастайды, бұл мутагендік тектегі короновирустық инфекциялардың қайталану қаупі бар тұрғысынан ерекше маңызды болып табылады. Осыған орай ауаны тазарту және дезинфекциялаудың осы әдісін жүзеге асыру үшін электромагниттік өрістің кеңістіктегі таралуының қажетті сипатын және уақыт өте келе өзгеруін анықтайтын есептеу құралдары қажет. Мақалада көрсетілген есептеу құралдарын жалпыланған Фурье оптикасы негізінде жүзеге асыруға болатындығы көрсетілген, бұл Грин*

*функциялары мен сәйкес теңдеулердің іргелі шешімдерін қолданбай, математикалық физиканың бірқатар шекаралық есептерін шешуге мүмкіндік береді. Фурье оптикасында қолданылатын әдіспен толқындарды бақылау жүйелеріне енгізілген дифракциялық элементтермен жүргізілген зерттеудің түрленуін сипаттайтын есептеу құралдары жасалды. Бұл құрал фазалық элементтің белгілі беру функциясымен түрлендірілген сәулеленудің кеңістіктік жиіліктерінің дискретті спектрін анықтауға мүмкіндік береді, оның принципі сыртқы ортаның әсерінен поляризация құбылыстарына ортаның сыну көрсеткішінің бақылаулы өзгеруіне негізделуі мүмкін.*

*The foundations of the theory of controlling the motion of polarized particles under the influence of microwave radiation are presented in the article. Particle motion is ensured by the action of a dielectrophoretic force, which arises in inhomogeneous electric fields due to the particle acquiring a nonzero dipole moment. Significant field strengths of the microwave range (of the order of 10 kV/cm), developing in standard devices using microwave technology, allow realizing trap fields that capture polarized particles and are capable of transporting them by reconstructing the field configuration over time. This method removes polarized particles from the air, including micro droplets of water and other aggregates that contain viruses, which are physicochemical in nature and hydrophilic interpolymer complexes, which is of particular relevance in light of the possible repetition of outbreaks of coronavirus infections of mutagenic origin. To implement this method of cleaning and disinfection of air, calculation tools are needed to determine the desired nature of the distribution of the electromagnetic field in space and its changes over time. It is shown in the article that such computational tools can be implemented on the basis of generalized Fourier optics, which allows solving a number of boundary-value problems of mathematical physics without using the Green's functions and fundamental solutions of the corresponding equations. The computational tools have been developed to describe the transformation of the study performed by diffraction elements inserted into waveguide systems using a method similar to that used in Fourier optics. This tool allows you to determine the discrete spectrum of spatial frequencies of the converted radiation by the known transmission function of the phasing element, the principle of which can be based on a controlled change in the refractive index of the medium, on polarization phenomena under the influence of an external electric field, etc.*

**Г. Г. Таткеева<sup>1</sup>, В. П. Марковский<sup>2</sup>, А. Б. Утегулов<sup>3</sup>,  
И. В. Кошкин<sup>4</sup>, М. Б. Байзакова<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., кафедра «Электроснабжение», Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н. доцент, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Электроэнергетика», Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистрант, кафедра «Электроснабжение», Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>tatkееva@mail.ru; <sup>2</sup>vadim54@mail.ru; <sup>3</sup>utegulov76@mail.ru;

<sup>4</sup>elektroenergetika@mail.ru

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ ПРИ СИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

*В статье рассматриваются вопросы обеспечения повышения уровня электробезопасности и надежности при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В, в сети с изолированной нейтралью. Для формирования метода использовалось значение переходного сопротивления при имитации несимметричного режима электрической сети с изолированной нейтралью, а также составляющие тока замыкания на землю. При этом считается, величина тока замыкания на землю через переходное сопротивление, или ток утечки, характеризует основные параметры электробезопасности, такие как напряжение прикосновения и шага.*

*Ключевые слова: электробезопасность, электрическая сеть, ток замыкания на землю, сопротивление, симметрия, несимметрия.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Для обеспечения повышения уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В необходимо знать величины тока ОЗЗ какой-либо фазы сети относительно земли через переходное сопротивление. Величина тока ОЗЗ через сопротивление или ток утечки характеризует такие параметры, как напряжение прикосновения и шага [1, 2].

При эксплуатации возможно повреждение изоляции фазы относительно земли. С нарушенной изоляцией невозможно определение величины однофазного тока замыкания на землю существующими методами, в связи с тем, что нельзя определить достоверность нужной величины с сохранением безопасности производственных работ [2].

Известные методы нахождения тока ОЗЗ не нашли широкого применения в практике эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В, так как они могли быть использованы только в трехфазных симметричных сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В, а при их использовании в симметричных сетях токи ОЗЗ содержат значительную погрешность [3].

Наиболее классическим является метод прямого замыкания на землю, который позволяет путем прямого измерения получить наиболее достоверное значение тока ОЗЗ. Данный метод не нашел широкого применения, так как при его использовании, то есть при прямом или так называемом металлическом замыкании какой-либо фазы относительно земли напряжение двух других фаз электроустановки относительно земли достигают значения линейного напряжения, что приводит зачастую к многофазным замыканиям и выходу из строя как средств канализации электрической энергии, так и источников питания и их электроприемников [3].

При использовании метода прямого замыкания на землю возникает реальная вероятность поражения электрическим током обслуживающего персонала, эксплуатирующего электроустановки, поскольку при этом возникают наибольшие значения напряжений прикосновения и шага [3].

В настоящее время отсутствуют методы определения тока утечки в симметричных сетях с поврежденной изоляцией.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что необходимо разработать метод определения токов ОЗЗ и утечки в симметричной сети с поврежденной изоляцией между какой-либо из фаз электроприемника напряжением до 1000 В.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Основными критериями электробезопасности являются ток, протекающий через организм человека и напряжение прикосновения. В странах

СНГ действует стандарт, устанавливающий значения тока и напряжения прикосновения в зависимости от длительности протекания аварийной ситуации. Утверждению этого стандарта предшествовали исследования по установлению первичных критериев электробезопасности при воздействии на организм человека переменных токов промышленной частоты (50 Гц) и постоянных токов. К первичным критериям электробезопасности относят пороговые значения токов, а именно минимальные и максимальные значения ощутимых организмом человека токов, а также аналогичные значения отпускающих, не отпускающих фибриляционных, или иначе смертельных токов.

В практике эксплуатации распределительных сетей имеет место повреждение изоляции между одной из фаз электроустановки и землей. При повреждении изоляции между фазой сети и землей возникает напряжение прикосновения и шага.

Напряжение прикосновения является одним из основных критериев электробезопасности и во многих странах для обеспечения безопасности эксплуатации электроустановок оно нормируется.

Напряжение прикосновения является той величиной, которую необходимо контролировать и на ее основе строить стратегию выбора решения организационных и технических мероприятий по обеспечению роста уровня электробезопасности при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В.

Поэтому необходимо разработать методы определения напряжения прикосновения в симметричной и несимметричной трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В.

Обслуживание экскаваторов и буровых станков на горных предприятиях, несет угрозу поражения электрическим током обслуживающего персонала и рабочих на разработке угольных месторождений и добыче полезных ископаемых [4].

В настоящее время отсутствуют причинно-следственные выводы не эффективной работы устройств защитного отключения для защиты людей от поражения электрическим током человека при эксплуатации экскаваторов и буровых станков [4].

Существующий способ защитного отключения в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В на экскаваторах, основанный на наложении постоянного тока на трехфазную сеть с фиксированной уставкой срабатывания защиты от поражения электрическим током человека, имеет недостаток. Данный недостаток заключается в том, что фиксированная уставка срабатывания защиты от поражения электрическим током человека не позволяет обеспечить защиту человека от поражения электрическим

током, так как сеть напряжением до 1000 В на экскаваторе имеет ток однофазного замыкания на землю меньше, чем величина уставки устройства защитного отключения [4].

Режим повреждения изоляции какой-либо фазы сети относительно земли является характерным для систем внутреннего электроснабжения предприятий. При низком уровне эксплуатации электроустановок, а также при существующих несовершенствах устройств защит от ОЗЗ происходит длительная эксплуатация сети с режимом замыкания на землю, который приводит к увеличению вероятности попадания человека под напряжение прикосновения и шага. Так как напряжение прикосновения зависит от величины тока ОЗЗ, а последний зависит от параметров изоляции, то есть от емкостной, полной и активной проводимостей фаз электрической сети относительно земли, то для разработки метода определения напряжения прикосновения используем математические зависимости, полученные в (1) для симметричной сети:

$$b = \frac{U_{\phi} g_o (U_{\phi} - U_{\phi o} \sin \alpha)}{U_{\phi}^2 + U_{\phi o}^2 - 2U_{\phi} U_{\phi o} \sin \alpha} \quad (1)$$

Уравнение (1) можно представить в виде, полагая при этом, что  $U_{\pi} = 1,73U_{\phi}$

$$b = \frac{U_{\pi} (U_{\pi} - 1,73U_{\phi o} \sin \alpha)}{(U_{\pi}^2 + 3U_{\phi o}^2 - 3,46U_{\pi} U_{\phi o} \sin \alpha) R_o} \quad (2)$$

где  $R_o$  – активное дополнительное сопротивление, которое подключено между одной из фаз сети относительно земли для создания искусственной несимметрии.

При повреждении какой-либо фазы сети относительно земли, напряжение прикосновения определяется по формуле

$$U_{np} = \beta I_o R_3 \quad (3)$$

где  $R_3$  – сопротивление сети заземления;

$\beta$  – коэффициент напряжения прикосновения.

Решая совместно уравнения (2), (3) и закона Ома, при этом полагая, что емкостной ток равен полному току ОЗЗ, получим математическую зависимость определения напряжения прикосновения в симметричной сети

$$U_{np} = \beta R \frac{U_n^2 (U_n - 1,73 U_{\phi o} \sin \alpha)}{U_n^2 + 3 U_{\phi o}^2 - 3,46 U_n U_{\phi o} \sin \alpha} \quad (4)$$

где:  $R = \frac{R_3}{R_0}$

Преобразуя падение напряжения прикосновения ( $E_{\underline{U}_{nn}}$ ) через частные производные линейного напряжения  $U_n$ , фазного напряжения  $U_{\phi o}$  и  $\sin \alpha$  к напряжению прикосновения  $U_{np}$  получим следующую зависимость:

$$E_{\underline{U}_{nn}} = \int \left( \frac{\partial U_{np}}{\partial U_n}; \frac{\partial U_{np}}{\partial U_{\phi o}}; \frac{\partial U_{np}}{\partial \sin \alpha} \right) \quad (5)$$

### ВЫВОДЫ

Метод определения напряжения прикосновения в симметричной сети с изолированной нейтралью позволяет обеспечить рост уровня электробезопасности и надежность электроустановок до 1000 В.

Метод обеспечивает удовлетворительную точность при определении параметров изоляции, а также простоту и безопасность производства работ в действующих электроустановках напряжением до 1000В в сети с изолированной нейтралью.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Киреева, Э. А.** Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / Э. А. Киреева, С. А. Цырук. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2014. – 288 с.

2 Надежность электроснабжения [Электронный ресурс]. – URL: <https://vunivere.ru/work82374>.

3 Разработка фозочувствительных методов повышения уровня безопасности и надежности эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением до и выше 1000 В. [Электронный ресурс]. – URL: <http://library.psu.kz/fulltext/dist/a265.pdf>

4 Способ защитного отключения в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В на экскаваторах [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-zaschitnogo-otklyucheniya-v-seti-s-izolirovannoy-neytralyu-napryazheniem-do-1000-v-na-ekskavatorah/viewer>.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Г. Г. Таткеева<sup>1</sup>, В. П. Марковский<sup>2</sup>, А. Б. Утегулов<sup>3</sup>, И. В. Кошкин<sup>4</sup>, М. Б. Байзакова<sup>5</sup>*

**Кернеуі 1000 В дейінгі оқшауланған бейтарап желілерде симметриялы режимдер кезінде жанасу кернеуін анықтау әдісі**

<sup>1,3,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті, Қостанай қ., 11000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*G. G. Tatkeeva<sup>1</sup>, V. P. Markovsky<sup>2</sup>, A. B. Utegulov<sup>3</sup>, I. V. Koshkin<sup>4</sup>, M. B. Baizakova<sup>5</sup>*

**Method for determining the touch voltage in symmetrical modes in networks with isolated neutral voltage up to 1000 V**

<sup>1,3,5</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>A. Baitursynov Kostanay State University, Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада кернеуі 1000 В дейінгі электр қондырғыларын, оқшауланған бейтарабы бар тораптарды пайдалану кезінде электр қауіпсіздігі мен сенімділігінің деңгейін арттыруды қамтамасыз ету мәселелері қарастырылады. Әдісті қалыптастыру үшін оқшауланған бейтарабы бар электр желісінің симметриялы емес режимін имитациялау кезінде өтпелі кедергінің мәні, сондай-ақ жерге тұйықталу тогының құраушылары қолданылды. Бұл ретте ауыспалы кедергі арқылы жерге тұйықталу тогының шамасы немесе ағу тогы деп есептеледі, жанасу және қадам кернеуі сияқты электр қауіпсіздігінің негізгі параметрлерін сипаттайды.*

*The article deals with the issues of increasing the level of electrical safety and reliability in the operation of electrical installations with a voltage of up to 1000 V, in a network with an isolated neutral. To form the method, we used the value of the transient resistance when simulating an asymmetric mode of an electrical network with an isolated neutral, as well as the components of the earth fault current. In this case, the value of the earth fault current through the transient resistance, or leakage current, is considered to characterize the main parameters of electrical safety, such as the touch and step voltage.*

ГРНТИ 44.29.37

**Г. Г. Таткеева<sup>1</sup>, А. Б. Утегулов<sup>2</sup>, В. П. Марковский<sup>3</sup>,  
И. В. Кошкин<sup>4</sup>, О. М. Ромазанов<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., зав. кафедрой «Электроснабжение», Казахский аграрный университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, Казахский аграрный университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>к.т.н., кафедра «Электроэнергетики», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., доцент, кафедра «Электроэнергетики», Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>магистрант, Казахский аграрный университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>tatkeeva@mail.ru, <sup>2</sup>vadim54@mail.ru; <sup>3</sup>utegulov76@mail.ru;

<sup>4</sup>elektroenergetika@mail.ru; <sup>5</sup>96 romrom@gmail.com

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ В СИММЕТРИЧНОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000 В**

*Одним из факторов поражения электрическим током является величина напряжения прикосновения в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В. С целью обеспечения повышения эффективности системы электроснабжения электроприемников для горнодобывающих предприятий необходимо разработать метод определения напряжения прикосновения в симметричных и несимметричных сетях напряжением выше 1000 В. Под эффективностью принимаем обеспечение роста уровня электробезопасности и надежности при эксплуатации электроустановок напряжением выше 1000 В.*

*Ключевые слова: ток, электроустановка, напряжение, изоляция, сеть, нейтраль, фаза, замыкание.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Для повышения бесперебойности систем внутреннего электроснабжения горных предприятий, а также обеспечения роста уровня электробезопасности

при эксплуатации трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В, разработан метод определения напряжения прикосновения в действующих электроустановках.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Разработанный метод определения напряжения прикосновения в трехфазной симметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000В основан на измерении величин модулей напряжения фазы А относительно земли до и после подключения активной дополнительной проводимости между фазой А электрической сети и землей и измерении напряжения нулевой последовательности после подключения активной дополнительной проводимости между фазой А электрической сети и землей и с учетом величины дополнительной активной проводимости и величины сопротивления заземления, а также коэффициента напряжения прикосновения, производится вычисление искомой величины по формуле:

$$U_{np} = 0,11 \frac{U_{\phi} U_{\phi 0}}{U_0}, \quad (1)$$

где  $U_{\phi}$ ,  $U_{\phi 0}$  – напряжения фазы А относительно земли до и после подключения активной дополнительной проводимости между ней и землей;  $U_0$  – напряжения нулевой последовательности после подключения активной дополнительной проводимости между фазой А электрической сети и землей.

Для повышения эффективности разработанного метода определения напряжения прикосновения в трехфазной симметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В, производится исключение измерения величины напряжения фазного напряжения до подключения активной дополнительной проводимости между фазой электрической сети и землей на измерение величины линейного напряжения после подключения активной дополнительной проводимости между фазой электрической сети и землей. Так как  $U_{л} = 1,73U_{\phi}$ , и при использовании пяти стержневого трансформатора напряжении типа НТМИ – 6 или НТМИ – 10 то на открытом треугольнике получаем утроенное напряжение нулевой последовательности и с учетом вышеизложенного уравнение (8) примет вид:

$$U_{np} = 0,11 \frac{U_{л} U_{\phi 0}}{U_0}. \quad (2)$$

На основе выше изложенного следует, что разработанный метод определения напряжения прикосновения в трехфазной симметричной

электрической сети с изолированной нейтралью основан на измерении величин модулей линейного напряжения, напряжения нулевой последовательности и напряжения фазы относительно земли после подключения активной дополнительной проводимости между ней и землей, где с учетом величины дополнительной активной проводимости и величины сопротивления заземления, а также коэффициента напряжения прикосновения, производится вычисление искомой величины.

Метод определения напряжения прикосновения в трехфазной симметричной сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В, реализуется схемой электрической принципиальной представленной на рисунке 1.

Схема электрическая принципиальная реализующая метод определения напряжения прикосновения в трехфазной симметричной сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В, содержит:

- трехфазную электрическую сеть, с фазами А, В и С;
- трансформатор напряжения TV типа НТМИ – 6 или НТМИ – 10;
- вольтметр PV1, измеряющий величину модуля напряжения фазы А относительно земли при подключении дополнительной проводимости между фазой А электрической сети и землей;
- вольтметр PV2, измеряющий величину модуля линейного напряжения;
- вольтметр PV3, измеряющий величину модуля напряжения нулевой последовательности;
- коммутирующий аппарат QF, подключающий известную активную дополнительную проводимость между фазой А электрической сети и землей;
- активная дополнительная проводимость  $g_0$ ;
- емкостные проводимости изоляции сети  $b_A, b_B, b_C$ ;
- активные проводимости изоляции сети  $g_A, g_B, g_C$ .

Разработанный метод при внедрении не требует создания специального измерительного прибора, так как измерительные приборы, то есть вольтметры, имеются в службе эксплуатации. В качестве активной дополнительной проводимости используются сопротивления ПЭ-200 с  $R = 1000 \text{ Ом}$ , где путем параллельного и последовательного соединения обеспечиваем требуемую мощность рассеивания.

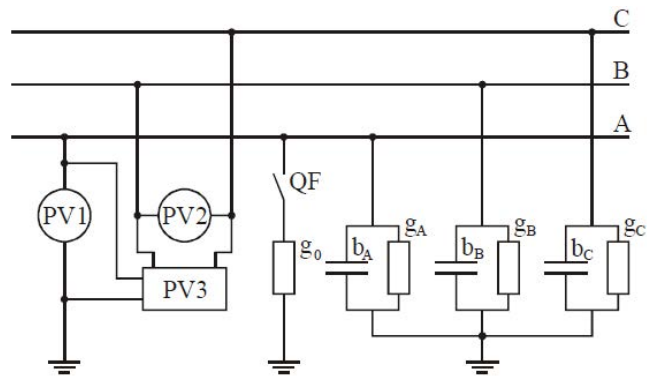


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная метода определения напряжения прикосновения в симметричной сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В

Для коммутации активной дополнительной проводимости используется резервная ячейка выключателя нагрузки.

Для определения напряжения прикосновения в трехфазной симметричной сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В, которое находится под рабочим напряжением и питает электроприемники, коммутирующим аппаратом QF подключается известная активная дополнительная проводимость  $g_0$  между фазой А электрической сети и землей. При подключенной известной активной дополнительной проводимости  $g_0$  между фазой А электрической сети и землей, со вторичной обмотки трансформатора напряжения TV производится измерения: вольтметром PV1 – величина модуля напряжения фазы А относительно земли, вольтметром PV2 – величина модуля линейного напряжения между фазами В и С, вольтметром PV3, измеряется величина модуля напряжения нулевой последовательности на открытом треугольнике трансформатора напряжения TV типа НТМИ – 6 или 10 кВ. После регистрации величины модуля  $U_{фo}$  напряжения фазы А относительно земли, величины модуля  $U_n$  – линейного напряжения между фазами В и С электрической сети и величины модуля  $U_o$  – напряжения нулевой последовательности, производится коммутирующим аппаратом QF отключение активной дополнительной проводимости  $g_0$ .

## ВЫВОДЫ

Разработанный метод позволяет с достаточной точностью и простотой определить величину напряжения прикосновения в трехфазной симметричной сети с изолированной нейтралью, напряжением выше

1000В, путем исключения измерения фазного напряжения до подключения активной дополнительной проводимости между ней и землей. По достоверному определению величины напряжения прикосновения, разрабатываются организационные и технические мероприятия, повышающие уровень электробезопасности и при эксплуатации системы внутреннего электроснабжения горных предприятий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гладилин, Л. В., Щуцкий, В. И., Бацезев, Ю. Г., Чеботаев, Н. И. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности // Л. В. Гладилин, В. И. Щуцкий, Ю. Г. Бацезев, Н. И. Чеботаев. – М. : Недра, 1977. – 327 с.
- 2 Гладилин, Л. В., Утегулов, Б. Б. Анализ погрешности метода определения параметров изоляции в трехфазных электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В // Известия вузов. Горный журнал. – 1980. – № 8. – С. 94–97.
- 3 Утегулов, Б. Б., Утегулов, А. Б., Уахитова, А. Б., Бегентаев, Б., Амургалинов, С. Способ измерения полной проводимости изоляции в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В // Инновационный пат. 24286 КазПАТЕНТ. – Астана, 2011.
- 4 Рыжов, П. А. Математическая статистика в горном деле : Учебное пособие для вузов. – М. : Высшая школа, 1973. – 284 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

Г. Г. Таткеева<sup>1</sup>, А. Б. Утегулов<sup>2</sup>, В. П. Марковский<sup>3</sup>, И. В. Кошкин<sup>4</sup>, О. М. Ромазанов<sup>5</sup>

**1000 В-тан жоғары дауыспен симметриялық желінде тігіндің дауысы тиісін анықтау әдісін дамыту**

<sup>1,2,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті, Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

G. G. Tatkeeva<sup>1</sup>, A. B. Utegulov<sup>2</sup>, V. P. Markovsky<sup>3</sup>, I. V. Koshkin<sup>4</sup>,  
O. M. Romazanov<sup>5</sup>

**Development of a method for determining a touch voltage in a symmetric network with a voltage above 1000 V**

<sup>1,2,5</sup>S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,  
Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>A. Baitursynov Kostanay State University,  
Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Электр тогының соғу факторларының бірі оқшауланған бейтарап кернеуі 1000 В-тан жоғары үш фазалы электр желісіндегі түйіспелі кернеудің мәні болып табылады. Тау-кен кәсіпорындары үшін электр қабылдағыштардың электрмен жабдықтау жүйесінің тиімділігін арттыру үшін 1000 В жоғары кернеуі бар симметриялы және асимметриялық желілерде байланыс кернеуін анықтау әдісін жасау қажет. электр қауіпсіздігі мен электр қуатының сенімділігі деңгейінің өсуін қамтамасыз ететін тиімділікті қабылдаймыз параметрлері 1000 В жоғары.*

*One of the factors of electric shock is the magnitude of the contact voltage in a three-phase electric network with an isolated neutral voltage above 1000 V. In order to increase the efficiency of the power supply system of power receivers for mining enterprises, it is necessary to develop a method for determining the contact voltage in symmetrical and asymmetric networks with a voltage above 1000 V. Under efficiency we accept ensuring the growth of the level of electrical safety and reliability in the operation of electric settings above 1000 V.*

ГРНТИ 621.438

**Д. Р. Умышев<sup>1</sup>, А. М. Достияров<sup>2</sup>, Ж. С. Дуйсенбек<sup>3</sup>,  
А. К. Яманбекова<sup>4</sup>, Ж. К. Мусаева<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, u7 Fkvfns6 0500006 Республика Казахстан;

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Ж. Даукеева,  
Институт теплоэнергетики и теплотехники, г. Алматы, 050000, Республика  
Казахстан;

<sup>3</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Ж. Даукеева,  
Институт теплоэнергетики и теплотехники, г. Алматы, 050000, Республика  
Казахстан;

<sup>4</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Ж. Даукеева,  
Институт теплоэнергетики и теплотехники, г. Алматы, 050000, Республика  
Казахстан;

<sup>5</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Ж. Даукеева,  
Институт теплоэнергетики и теплотехники, г. Алматы, 050000, Республика  
Казахстан

e-mail: zhaniko.adina@mail.ru

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ  
ВАРИАНТОВ ПОДАЧИ ТОПЛИВА НА ПРОЦЕССЫ  
ГОРЕНИЯ ЗА ГРУППОЙ УГОЛКОВЫХ  
СТАБИЛИЗАТОРОВ**

*В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния подачи топлива на процессы стабилизации пламени, образование оксидов азота и температурные уровень на выходе из камеры сгорания при использовании группы из трех уголковых стабилизаторов. В эксперименте рассматривалось два варианта подачи топлива, в первом варианте (вариант А) подача топлива осуществлялась непосредственно в зону рециркуляции, с внутренней стороны уголка, во-втором варианте (вариант Б) топливо подавалось на ось симметрии уголка с внешней стороны.*

*При подаче топлива с внутренней стороны уголка образование оксидов азота меньше, чем при подаче с внешней стороны. При скорости 4 м/с, концентрация оксидов азота была равны 25ppm и 20ppm для варианта А и Б соответственно. С увеличением скорости концентрация оксидов снижалась. Температура газов для двух вариантов тоже изменялась с увеличением скорости. При скоростях*



4 м/с температуры газов за камерой сгорания были равны 740 и 783 для вариантов А и Б соответственно.

Важным результатом экспериментов является стабилизация пламени. Было выявлено, что при скоростях выше 8 м/с пламя при варианте подачи топлива Б не горит стабильно. При варианте А пламя было стабильно при всех скоростных режимах (4–16). При скорости 4 м/с, бедный срыв для вариантов А и Б наступал при  $\varphi=0,11$  и  $\varphi=0,14$  соответственно.

Ключевые слова: топлива, фотокамера, азот, газ, стабилизатор.

## ВВЕДЕНИЕ

Технико-экономический анализ и накопленный мировой опыт показывают, что применение газотурбинных установок в качестве пиковых, полупиковых, резервных, передвижных, а при определенных условиях – и в качестве базовых, является одним из перспективных путей совершенствования энергетических систем, повышения их экономичности и надежности. Значительны также преимущества газотурбинных двигателей в качестве транспортных. Поэтому последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием как энергетического, стационарного, так и транспортного газотурбостроения (особенно флот и трубопроводный транспорт), неговоря уже об авиационном двигателестроении.

Важным элементом газотурбинных установок является камера сгорания, в которой химически связанная энергия топлива превращается в тепловую.

Сложность заключается во все повышающихся требованиях к вредным выбросам при повышении или сохранении эффективности работы газотурбинных установок. Приемлемым с технико-экономической точки зрения является использование плохообтекаемых тел или их комбинация [1–18]. Значительным преимуществом горелочных устройств на базе плохообтекаемых тел является возможность работы на различных видах топлива – от «тяжелых» попутных нефтяных газов до «легких» природных газов или различных газовых смесей с водородом [5].

В настоящее время широко используются методы предварительного смешения воздуха с «бедной» концентрацией топлива [1–7], однако актуальным остается использование диффузионных пламен в виду большой надежности и широкого диапазона стабильной работы [8–12]. Особый интерес вызывает возможность использования плохообтекаемых тел при больших избытках топлива, так как данное обстоятельство позволяет создавать камеры сгорания без разделения воздуха на первичный и вторичный.

Бикрамом и др. [1, 2] изучались процессы горения за плохообтекаемым телом в форме диска диаметром 10 мм с использованием предварительно

перемешанного топлива. Эксперименты показали значительное влияние турбулентности и состава топлива на процессы горения за плохообтекаемым телом. С увеличением турбулентности зона реакции сужается, что приводит к снижению стабилизационных характеристик.

Нельзя не отметить глубокое изучение процессов горения, образования токсичных веществ и тепломассообмена за плохообтекаемыми телами в микро камере сгорания проведенными Айву Фаном и др. [3–7]. Основные результаты, которые можно отметить, это значительное повышение стабилизации пламени до 2.4 раза при применении плохообтекаемого тела [3], на стабилизацию пламени в значительной степени влияет скорость потерь тепла [4], которое тесно связано с турбулентностью и течением топливно-воздушной смеси, а также то, что полусферические тела в отличие от треугольных имеют более высокие стабилизационные показатели, за счет менее слабого «растягивания» пламени, что приводит к повышенному теплообмену между свежей топливно-воздушной смесью и сгоревшими продуктами сгорания [5].

Исследование плохообтекаемого тела в виде диска на процессы стабилизации диффузионного пламени [8] показали, что на стабилизацию пламени в значительной мере влияет расположение самого плохообтекаемого тела.

Shun-Chang Yen и др. [13] изучали влияние v-образных канавок плохообтекаемого тела в виде конуса на характеристики горения неперемешанного топлива. Увеличение числа v-образных канавок увеличивает интенсивность турбулентности, за счет чего повышается температура в зоне горения и снижаются концентрации оксидов азота.

Yunfei Yan и др. [14] изучали при помощи моделирования плохообтекаемое тело в виде треугольника с разрезами на обеих сторонах. При моделировании использовались данные полученные экспериментально в статье [7]. Показано, что увеличение угла на вершине уголка приводит к повышению стабилизации пламени. Те же результаты были получены нами в [15, 16].

Проанализировав широкий спектр проведенных исследований и на основе прошлых экспериментов [15, 16, 19–22] авторы пришли к выводу, что важно изучить решетку состоящую из группы однотипных уголковых стабилизаторов. Данное расположение уголков вызывает интерес в виду потенциального их использования в качестве стабилизаторов в камере сгорания газотурбинных установок, а также котлов утилизаторов с дожиганием топлива.

**Экспериментальная установка и методы замеров.** Схема камеры сгорания представлена на рисунке 1 [17, 18]. Общая длина камеры сгорания 900 мм, толщина стенок 0,5 мм. Ширина камеры сгорания 150 мм. Общий вид уголковых стабилизаторов представлен на рисунке 3. Уголкового стабилизаторы установлены симметрично относительно оси камеры сгорания и расстояние между соплом и уголком равно 20 мм. Длина стенок уголков 30 мм, углы на вершине уголков 450. Часть между вентилятором и зоной горения сделана из цельного металла, в котором расположены трубки диаметром 16 мм, для обеспечения равномерного потока воздуха. Зона горения сделана из кварцевой трубы, которая выдерживает высокие температуры.

Так как в эксперименте изучалось неперемешанное (диффузионное горение), перемешивание топлива с воздухом осуществлялось непосредственно в зоне горения. Для поджога топлива использовалось искровое зажигание, установленное непосредственно перед средним уголковым стабилизатором. На выходе из камеры сгорания были установлены радиально термпары с диаметрами 0,5 мм (хромель-алюмель) для проведения замеров температуры. Параметры уходящих газов замерялись стационарным газоанализатором с погрешностью 5 % по всему диапазону измерений. Для снимков использовалась цифровая фотокамера с высоким разрешением.

В эксперименте, исследовалось влияние расположения системы подачи топлива при различных коэффициентах избытка топлива. Коэффициент избытка регулировался при помощи увеличения или снижения скорости воздуха подаваемым вентилятором. В первом варианте топливо подавалось с расстояния 10 мм от оси симметрии уголка, во втором топливо подавалось с внутренней стороны уголка, непосредственно в зоне рециркуляции. Пламя зажигалось при отсутствии подачи воздуха, при минимальном расходе топлива, равным 0,0025 кг/с, затем выставлялась скорость на вентиляторе, в котором увеличивалась скорость с шагом в 4 м/с. По достижении необходимой скорости от 4 до 16 м/с, выставлялся максимальный расход топлива, равным 0,005 кг/с. При установившемся пламени замерались значения концентраций NOx, температур и концентраций кислорода. В зависимости от скорости воздуха, число Рейнольдса изменялось в диапазоне 21868÷87475.

Для изучения процессов бедного срыва, при установившейся скорости от 4 м/с до 16 м/с и максимальном расходе топлива 0,005 кг/с, постепенно снижался расход топлива с шагом 0,0005 кг/с до визуального угасания пламени. После этого записывался расход топлива.

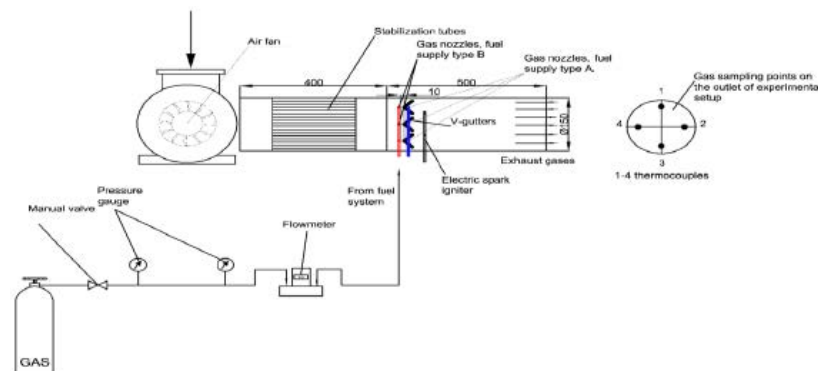


Рисунок 1 – Схема горелочного устройства и точек замеров

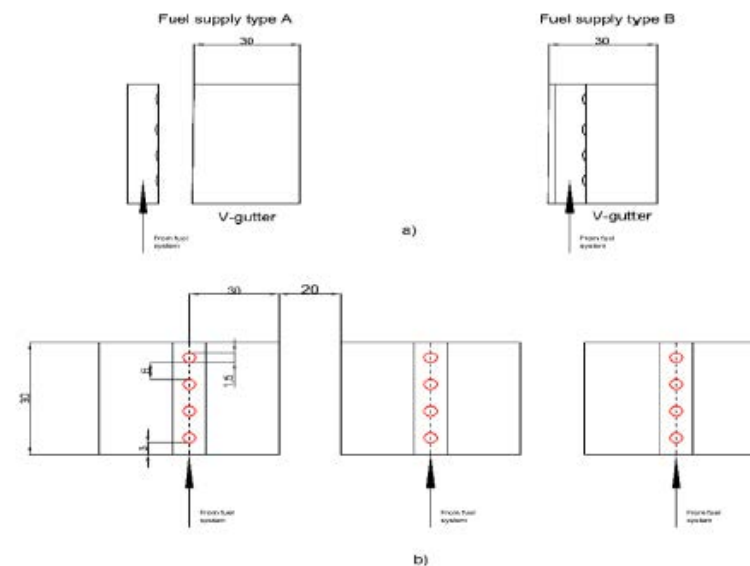


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

**Результаты и обсуждение.**

**Бедный срыв.** На рисунке 3 представлена зависимость бедного срыва для различных вариантов подачи топлива от скорости набегающего воздуха. Как видно из рисунка при всех прочих равных условиях, бедный срыв для варианта подачи топлива Б наступает раньше. Это происходит за счет ускорения потока между кромками уголков, что приводит к тому, что скорость

топливно-воздушной смеси достаточно велика и не может быть втянута в зону рециркуляции образующейся за уголковыми стабилизатором. Зная условия стабилизации пламени, при котором скорость горения должна быть достаточной, чтобы поджечь вновь поступившую свежую смесь, очевидно, что при высоких скоростях скорость выгорания достаточно мала, чтобы поджечь свежую смесь, которой достаточно мало в виду «уноса» части топлива скоростным потоком.

Несмотря на то, что температура газов на выходе из установки выше, чем при варианте А, стабилизация пламени ниже. Это говорит о том, что топливо догорает в «хвосте» камеры сгорания, и высокотемпературное пламя не участвует в стабилизации пламени происходящем в области уголковых стабилизаторов.

При одинаковых скоростях равных 4 м/с, для вариантов топлива А и Б коэффициенты избытка топлива при бедном срыве равны 0,11 и 0,14 соответственно. При скоростях 8 м/с 0,097 и 0,11. При повышении скорости выше 8 м/с, при варианте подачи топлива Б не наблюдается стабильного пламени, так как пламя отрывается от кромок уголков и не происходит теплообмена между сгоревшими газами и свежей топливно-воздушной смесью.

Высокие стабилизационные характеристики варианта подачи топлива А объясняются следующим, в отличие от варианта подачи топлива Б, топливо подается непосредственно в зону рециркуляции образующейся за уголковыми стабилизаторами и независит от скорости воздуха в межуголковом пространстве. Это создает условия при которых зона рециркуляции насыщена топливом и обеспечивается относительно высокие показатели тепломассообменных процессов, которые и положительно влияют на стабилизацию пламени.

**Образование оксидов азота.** На рисунке 4 представлены зависимости концентрации оксидов азота для двух вариантов подачи топлива при различных расходах воздуха. Как видно из рисунка, при подаче топлива непосредственно в зону рециркуляции уголка (вариант А) концентрация оксидов азота ниже. Это особо заметно при низких скоростях воздуха, к примеру при 4 м/с концентрация  $\text{NO}_x$  для вариантов А и Б 20 ppm и 20ppm соответственно.

Оксиды азота, основную часть которых которых обычно составляет оксиды азота, образуются в результате окисления азота, находящегося в атмосферном воздухе, в высокотемпературных зонах камер сгорания, температура в которых выше 1800 К. Поэтому, чаще всего он образуется в центральных зонах камеры [23]. При подаче топлива в зону рециркуляции топливо выгорает в стехиометрическом соотношении, что заметно из цвета пламени (синий), однако известно, что максимальные концентрации оксидов

азота образуется при  $\varphi \approx 0,8$ . Температура в зоне горения, как показывает численное моделирование имеет сравнительно низкие значения, что объясняет низкие концентрации оксидов азота.

При подаче топлива по варианту Б, часть топлива догорает в «хвосте» пламени, создавая высокотемпературную зону, температура в которой превышает 1800 К. Данное обстоятельство приводит к тому, что газы находятся в зоне с высокой температурой, что является второй причиной образования оксидов азота.

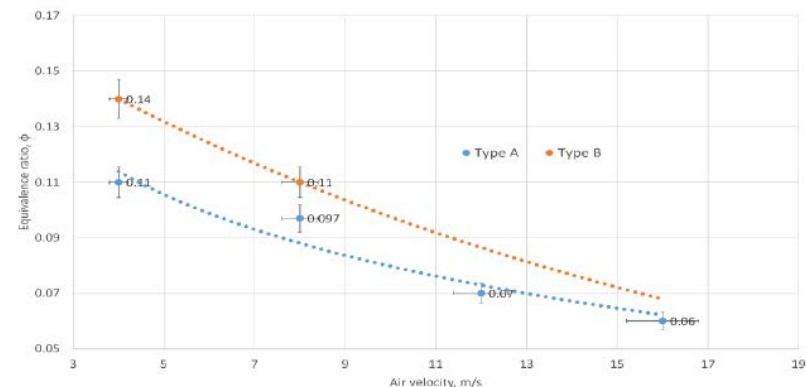


Рисунок 3 – Зависимость бедного срыва от скорости воздуха при различных вариантах подачи топлива

Как известно [23] цепные реакции образования оксидов азота начинаются с высвобождения атомов кислорода при диссоциации молекул кислорода. Расчетная концентрация  $\text{NO}$  возрастает при повышении температуры при неизменном  $\phi$ . Как видно из численного моделирования, при всех прочих равных условиях (скорости воздуха и расхода топлива) в зоне горения при подаче топлива по варианту Б существует высокотемпературная зона, которая является главным источником диссоциации молекул кислорода, которые соединяются атомами азота. При горении пламени появляется конкуренция между атомами топлива и азотом за атомарным кислородом, однако учитывая, что основная часть топлива выгорает непосредственно на уголках, за уголками появляется зона в которой достаточно много атомарного кислорода при малой концентрации догорающего топлива. Это создает условия для молекул азота, которые и реагируют с кислородом. Данные условия приводят к повышению концентрации оксидов азота.

**Температура.** На рисунке 5 представлены зависимости температуры уходящих газов для двух вариантов подачи топлива при различных скоростях

воздуха. Разница температур во всех скоростных режимах воздуха составляет 30–40 градусов. Причиной более высоких температур исходя из фотографий является догорание части топлива в «хвосте» факела, что и создает большую светимость.

В целом температурные контуры показывают хорошую согласованность с концентрациями оксидов азота.

**Структура пламени за уголковыми стабилизаторами.** На рисунке 6 представлены фотографии высокого разрешения отрывных потоков за уголковыми стабилизаторами. При варианте подачи топлива А, видно, что увеличение скорости приводит к снижению светимости факела. Максимальная светимость наблюдается при скорости 4 м/с. Пламя желтого цвета имеет наиболее высокие температуры, за счет чего в значительной мере растет концентрация оксидов азота. Максимальная длина факела наблюдается именно при малых скоростях, что говорит о том, что часть топлива догорает в «хвосте» факела. При скоростях 8 м/с и 12 м/с видно, что пламя горит в стехиометрическом режиме. Замечены остатки пламени желтого цвета. При повышении скорости до 16 м/с, пламя имеет четко очерченную форму. Отчетливо видно зоны рециркуляции. При такой скорости отсутствует светимость пламени.

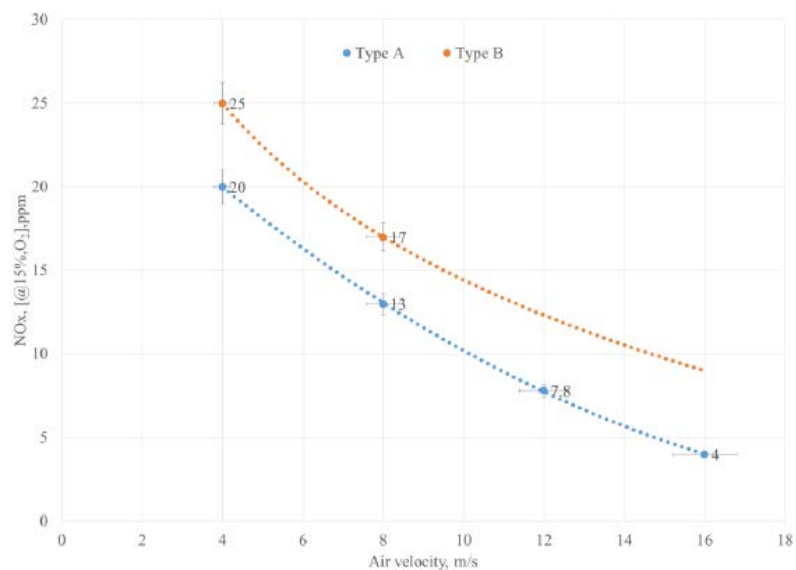


Рисунок 4 – Зависимость образования оксидов азота от скорости набегающего воздуха

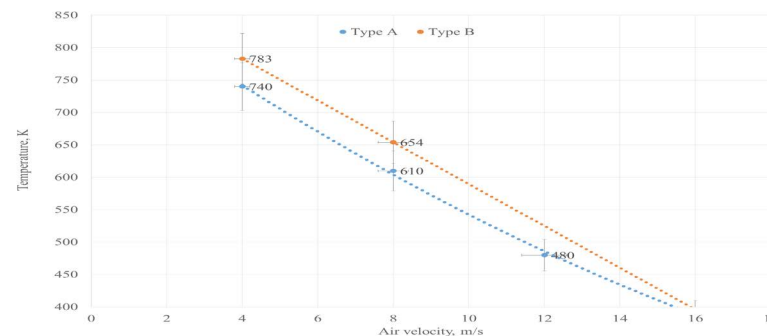


Рисунок 5 – Зависимость температуры от скорости набегающего воздуха на выходе из экспериментальной установки

При варианте подачи пламени Б, факел имеет более короткую длину, если смотреть от кромок уголков. Это происходит за счет выгорания части топлива межуголковым пространством. Причем видно, что горение происходит в высокотурбулентном режиме. Из фотографий также заметно, что при варианте подачи топлива Б зона реакции шире чем при варианте подачи А. Данное обстоятельство объясняется горением топливно-воздушной смеси в пространстве между уголковыми стабилизаторами, что создает дополнительный слой к следу образуемому на кромках уголков.

Особо важным моментом является «соединение» факелов в зоне догорания. Это происходит в обоих скоростных вариантах (4 и 8). При подаче же топлива с внутренней части уголков, заметно, что факела более «независимы» друг от друга.

Как видно из фотографий, центральный уголок имеет более короткий факел, во всех скоростных режимах при подаче топлива по варианту Б. Это происходит по причине взаимовлияния уголков на «засасывание» воздуха в зону рециркуляции. Если в двух крайних уголках отсутствуют сопротивления с одной «свободной» стороны, то на скоростной режим у кромок центрального уголка в значительной степени воздействуют соседние уголки. За счет такого расположения, часть воздуха не попадает в зону рециркуляции, что приводит к снижению длины факела. Во всех режимах, пламя имеет относительно симметричную форму, что было учтено при проведении экспериментов.

Проведенные эксперименты показывают высокую стабилизацию пламени при использовании уголковых стабилизаторов. Одним из важных моментов плохообтекаемых тел является обеспечение саморегулируемости, т.е. независимо от расхода воздуха уголковые стабилизаторы обеспечивают

оптимальное отношение топливо/воздух для стабилизации пламени, однако, при варианте подачи топлива Б не наблюдается саморегулируемость при высоких скоростях.

**Численное моделирование.**

*Физическая модель*

Исследуемая модель прямоугольной формы представлена на рисунке 7. 3-D модель области сделана в программе SolidWorks, высота, ширина и длина модели 150X150X500 мм. Уголки в исследуемой модели расположены в соответствии с экспериментальными условиями симметрично продольной оси. Расположение систем подачи топлива аналогичны эксперименту и представлены на рисунке 2. Все прочие параметры, такие как температура воздуха и топлива, скорость воздуха и расход топлива аналогичны эксперименту. Моделируемая область представлена на рисунке

*Математическая модель*

Для моделирования процессов горения за уголковыми стабилизаторами была использована программа ANSYS Fluent [31, 32]. Расход воздуха изменялся аналогично эксперименту от 4 м/с до 16 м/с. Расход топлива был постоянен и равен 0,005 кг/с. Плотности, вязкость, теплопроводность определялись как piecewise-linear, данные брались из [26], теплоемкость по кинетической теории. Адекватность используемой подтверждалась в статье [16].

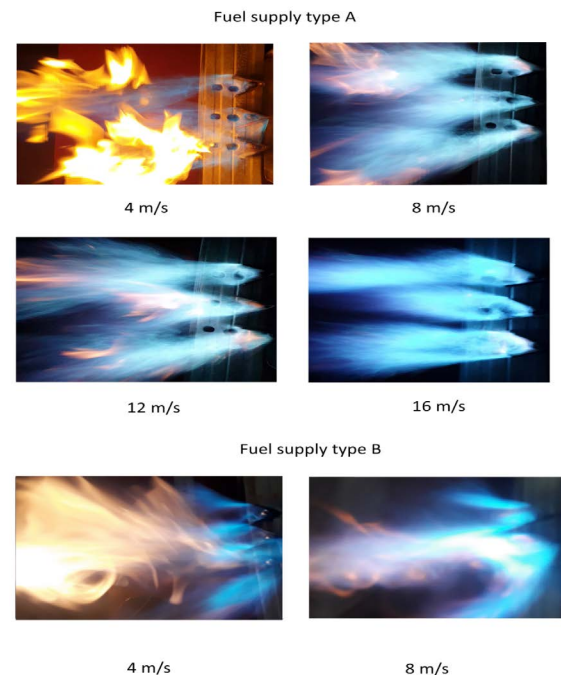


Рисунок 6 – Фотографии отрывных потоков за уголковыми стабилизаторами при различных расстояниях

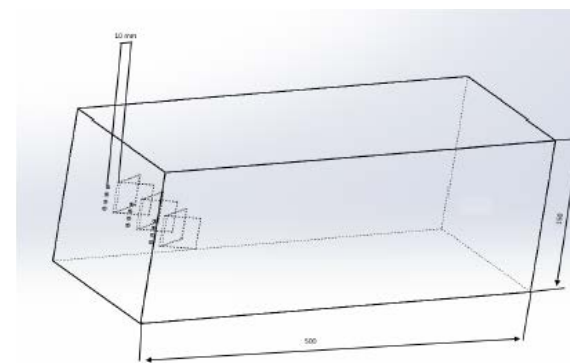


Рисунок 7 – Изометрический вид на моделируемую область

На рисунке 8 представлены температурные контуры за уголковыми стабилизаторами. Как можно видеть, при подаче топлива по варианту А, пламя

имеет осесимметричную форму. Максимальные температуры достигаются при скорости 4 м/с. Причем видно, что при скорости 4 м/с существуют объединенная высокотемпературная зона, в которой температура достигает 1750 К. При увеличении скорости длина высокотемпературной зоны сокращается. Высокотемпературные зоны находятся непосредственно за уголковыми стабилизаторами. При увеличении скорости до 16 м/с высокотемпературная зона сокращается, однако имеет незначительную разницу со скоростью в 12 м/с. Особо важным момент является то, что высокотемпературная зона не смотря на повышение скорости стабильна находится за уголковыми стабилизаторами. Данное обстоятельство приводит к тому, что высокотемпературные газы успевают поджечь свежую топливно-воздушную смесь, что и объясняет высокую стабилизацию пламени, смотрите рисунок 3.

Важно отметить, что полученные экспериментальные данные и контуры температур хорошо согласуются. Это особенно заметно по структуре пламени при скоростях 4 м/с.

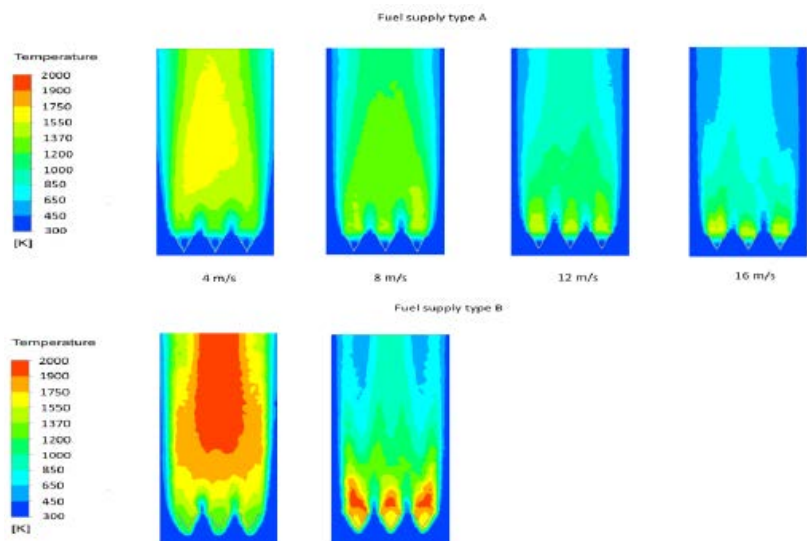


Рисунок 8 – Температурные контуры за уголковыми стабилизаторами

### ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты показали значительное влияние подачи топлива на стабилизацию пламени, температуры уходящих газов и концентрации оксидов азота на выходе из камеры сгорания при использовании

группы уголковых стабилизаторов. Исходя из экспериментов, можно сделать следующие выводы:

– При скоростях выше 8 м/с уголки с подачей топлива на ось симметрии (Вариант Б) не имеют стабильного пламени. При скоростях 4 м/с и 8 м/с для вариант подачи топлива Б имеет более узкий диапазон стабилизации по сравнению с вариантом подачи топлива А.

– Наиболее оптимальным с точки зрения оксидов азота является подача топлива во внутреннюю часть уголка. При 4 м/с концентрации оксидов азота были равны 25 ppm и 20 ppm для варианта А и Б соответственно. С увеличением скорости концентрация оксидов снижалась.

– Температура газов для двух вариантов тоже изменялась с увеличением скорости. При скоростях 4 м/с температуры газов за камерой сгорания были равны 740 и 783 для вариантов А и Б соответственно.

– Численное моделирование позволило провести более полный анализ полученных результатов. Показано, что температурные контуры соответствуют полученным экспериментальным данным.

Как показали эксперименты, на стабилизацию пламени в значительной мере влияет расстояние между уголками. В предыдущих экспериментах авторы рассматривали взаимовлияние двух уголков. В последующем следует исследовать взаимовлияние трех уголков на стабилизацию пламени.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Bikram Roy Chowdhury, Baki M. Cetegen.** Experimental study of the effects of free stream turbulence on characteristics and flame structure of bluff-body stabilized conical lean premixed flames / *Combustion and Flame*. – 178 (2017). – P. 311–328.

2 **Bikram R. et al.** Effects of free stream flow turbulence on blowoff characteristics of bluff-body stabilized premixed flames / *Combustion and Flame*. – 190 (2018). – P. 302–316.

3 **Yunfei Yan, et al.** Numerical investigation on combustion characteristics of methane/air in a micro-combustor with a regular triangular pyramid bluff body, *International journal of hydrogen energy*. – 43 (2018). – P. 7581–7590.

4 **Aiwu Fan, et al.** Numerical investigation on flame blow-off limit of a novel microscale Swiss-roll combustor with a bluff-body / *Energy*. – 123 (2017). – P. 252–259.

5 **Aiwu Fan, et al.** Effect of bluff body shape on the blow-off limit of hydrogen/air flame in a planar micro-combustor / *Applied Thermal Engineering*. – 62 (2014). P. 13–19.

6 **Aiwu Fan, et al.** Interactions between heat transfer, flow field and flame stabilization in a micro-combustor with a bluff body / International Journal of Heat and Mass Transfer, 66 (2013). – P. 72–79.

7 **Jianlong Wan, et al.** Experimental and numerical investigation on combustion characteristics of premixed hydrogen/air flame in a micro-combustor with a bluff body, International Journal of Hydrogen Energy. – 37(2012). – P. 19190–19197.

8 **Yiheng Tong, et al.** Effects of the position of a bluff-body on the diffusion flames : A combined experimental and numerical study / Applied Thermal Engineering. – 131 (2018). – P. 507–521.

9 **Khristich, V. A., Litoshenko, V. N.** Investigation of the counter flow zone dimensions behind the system of corner flameholders / Herald of KPI. Thermal engineering series. – 5 (1968). – P. 10–15 (in Russian).

10 **Butovskiy, L. S., Khristich, V. A.** The structure of mixing zone and particular qualities of burning behind triangle flameholder / Theory and practice of gas burning. – Leningrad, 1972. – P. 76–82 (in Russian).

11 **Khristich, V. A., Lyubchik, G. N.** About the stability of diffusional combustion behind flameholders, in: Theory and practice of gas burning, Leningrad, 1972, – p. 82–85 (in Russian).

12 **Khristich, V. A., Lyubchik, G. N.,** The influence of gas fuel type of combustion process of jet-stabilizer burners / Theory and practice of gas burning. – Leningrad, 1972. – P. 12–132 (in Russian).

13 **Shun-Chang Yen, Chih-Long Shih, Kuo-Ching San.** Non-premixed flame characteristics and exhaust gas concentrations behind rifled bluff-body cones / Journal of the Energy Institute. – 91 (2018). – P. 489–501.

14 **Yunfei Yan, Ziqiang He, Qingyun Xu, Li Zhang, Lixian Li, Zhongqing Yang, Jingyu Ran.** Numerical study on premixed hydrogen/air combustion characteristics in micro-combustor with slits on both sides of the bluff body / International journal of hydrogen energy. – 44 (2019). –1998–2012.

15 **Dias R. Umyshev, et al.** Experimental investigation of v-gutter flameholders / Thermal Science. – 21 (2017). – 2. – P. 1011–1019.

16 **Dias R. Umyshev, et al.** Experimental investigation of distance between v-gutters on flame stabilization and NOx emissions / Thermal Science, [Electronic resource]. – doi: <https://doi.org/10.2298/TSCI180503007U>.

17 **Schefer, R., et al.** Effect of confinement on bluff-body burner recirculation zone characteristics and flame stability / Combust. Sci. Technol., 120 (1996) – P. 185–211.

18 **Yang, J.-T., et al.** Flow structures and mixing mechanisms behind a disc stabilizer with a central fuel jet / Combust. Sci. Technol., 174 (2002) – P. 93–124.

19 **Umyshev, D. R., et al.** Application of semi perforated V-gutter flameholders in heat-generating systems for autonomous building heating, International journal of mechanics and mechanotronics. – 16 (2016). – 6. – P. 63–69.

20 **Dias R. Umyshev, et al.** Experimental investigation of recirculation zones behind V-gutter type flameholders / International Journal of Pharmacy and Technology. – 8 (2016). – 4. – P. 27369–27380.

21 **Umyshev, D. R., et al.** Experimental investigation of the management of NOx emissions and their dependence on different types of fuel supply / Espacios. – 38 (2017). – 24. – P. 17.

22 **Dostiyarov, A. M., et al.** Results of investigation of the GTE combustion chamber with a two-stage burner / RevistaEspacios. – 39 (24). – P. 33.

23 **Lefebre, A.** Gas turbine combustion. – Mir. – USSR, 1986. (in Russian language).

24 \*\*\*, ANSYS FLUENT 13.0 Theory Guide

25 \*\*\*, ANSYS FLUENT 13.0 User's Guide

26 **Mikheev, M. A., Mikheeva, I. M.** Heat transfer basics / Energiya. – Moscow, USSR, 1977 (in Russian language).

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Д. Р. Умышев<sup>1</sup>, А. М. Достияров<sup>2</sup>, Ж. С. Дуйсенбек<sup>3</sup>, А. К. Яманбекова<sup>4</sup>,  
Ж. К. Мусаева<sup>5</sup>*

**Бұрыштық тұрақтандырғыштар тобының жану процесстеріне отын берудің әртүрлі нұсқаларын эксперименттік зерттеу**

<sup>1</sup>Satbayev University

Жылуэнергетика және жылутехника институты,

Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

<sup>2,3,4,5</sup>Г. Ж. Даукеев атындағы Алматы энергетика

және байланыс университеті,

Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*D. R. Umyshev<sup>1</sup>, A. M. Dostiyarov<sup>2</sup>, Zh. S. Duisenbek<sup>3</sup>, A. K. Yamanbekova<sup>4</sup>, Zh. K. Musaeva<sup>5</sup>*

### **Experimental study of various options of fuel supply for combustion processes for a group of corner stabilizers**

<sup>1</sup>Institute of Heat and Power Engineering,  
Satbayev University,

Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

<sup>2,3,4,5</sup>G. Zh. Daukeev Almaty University  
of Energy and Communications,

Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада үш бұрыштық тұрақтандырғыштар тобын пайдалану кезінде жанармай берудің жалынның тұрақтану процесстеріне, азот оксидтерінің түзілуіне және жану камерасының шығысындағы температура деңгейіне әсерін эксперименталды зерттеу нәтижелері келтірілген. Тәжірибе барысында жанармай жеткізудің екі нұсқасы қарастырылды: бірінші нұсқада (А нұсқасы) жанармай бұрыштың ішінен тікелей циркуляция аймағына, ал екінші нұсқада (В нұсқасы) жанармай сыртқы жағынан бұрыштың симметрия осіне жеткізілді.*

*Бұрыштың ішкі жағынан жанармай берілсе, азот қышқылдарының түзілуі сыртқы жағынан қарағанда аз болады. 4 м/с жылдамдықпен азот оксидтерінің концентрациясы тиісінше А және В нұсқасы үшін 25ppm және 20ppm болды. Жылдамдықтың жоғарылауымен оксидтердің концентрациясы төмендеді. Газдың екі нұсқасы үшін температура жылдамдығына байланысты да өзгерді. 4 м/с жылдамдықпен жану камерасының артындағы газдың температурасы А және В нұсқалары үшін сәйкесінше 740 және 783 болды.*

*Тәжірибелердің маңызды нәтижесі – жалынның тұрақтануы. 8 м/с-тен жоғары жылдамдықта жалын В нұсқасымен жанбайтындығы анықталды. А нұсқасы бойынша жалын барлық жылдамдық режимдерінде тұрақты болды (4–16). 4 м/с жылдамдықпен А және В нұсқалары үшін нашар бұзушылық сәйкесінше  $\varphi = 0,11$  және  $\varphi = 0,14$  болды.*

*The article presents the results of an experimental study of the effect of fuel supply on flame stabilization processes, the formation of nitrogen oxides, and the temperature level at the outlet of the combustion chamber when using a group of three corner stabilizers. In the experiment, two*

*options for supplying fuel were considered, in the first option (option A), fuel was supplied directly to the recirculation zone, from the inside of the corner, and in the second option (option B), fuel was supplied to the axis of symmetry of the corner from the outside.*

*When fuel is supplied from the inside of the corner, the formation of nitrogen oxides is less than when supplied from the outside. At a speed of 4 m/s, the concentration of nitrogen oxides was 25ppm and 20ppm for option A and B, respectively. With increasing speed, the concentration of oxides decreased. The gas temperature for the two variants also varied with increasing speed. At speeds of 4 m/s, the gas temperatures behind the combustion chamber were equal to 740 and 783 for options A and B, respectively.*

*An important result of experiments is flame stabilization. It was found that at speeds above 8 m/s the flame does not burn stably with fuel supply option B. With option A, the flame was stable at all speed modes (4–16). At a speed of 4 m/s, a poor breakdown for options A and B occurred at  $\varphi = 0.11$  and  $\varphi = 0.14$ , respectively.*



**Н. С. Файз<sup>1</sup>, М. И. Сатаев<sup>2</sup>, А. М. Азимов<sup>3</sup>,  
А. А. Бердалиева<sup>4</sup>, О. Я. Никонов<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>м.т.н., докторант, 2 курс, Факультет строительства и транспорта, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. О. Ауэзова, г. Шымкент, 160012, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, член корреспондент НАН РК, Факультет строительства и транспорта, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. О. Ауэзова, г. Шымкент, 160012, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>PhD, Факультет механики и нефтегазового дела, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. О. Ауэзова, г. Шымкент, 160012, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>к.т.н., доцент, Высшая школа «Информационных технологий и энергетики», Южно-Казахстанский государственный университет имени М. О. Ауэзова, г. Шымкент, 160012, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>д.т.н., профессор, Лауреат Премии Президента Украины, Факультет механики, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков, 61002, Республика Украина

e-mail: <sup>1</sup>nursultan\_90faiz@mail.ru; <sup>2</sup>maratsatayev@mail.ru; <sup>3</sup>azimov-78@mail.ru; <sup>4</sup>aydin\_01@mail.ru; <sup>5</sup>oj\_nikonov@mail.ru

## **КАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРИМЕРЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

*Данная статья направлена на выявление потенциальных рисков канцерогенного характера на антропогенную среду, которая создается распространением электромагнитных излучений в низкочастотных энергетических объектах.*

*Были рассмотрены вопросы о времени нахождения людей в зонах влияния электрического поля от уровня интенсивности ее распределения. Это обусловлено тем, что именно напряженность электрического поля является основным фактором электромагнитного излучения, которое снижает биологическую активность людей, вызывая различные виды заболеваний.*

*Создана математическая модель на основе временного фактора, которая позволила оценить уровень роста заболевания от облучаемой способности, порождаемой электромагнитной радиацией.*

*Проведение объективного экологического мониторинга при обследовании линий электропередач высокого напряжения требует учитывать климатические и метеорологические особенности выбранного района. Диапазон периодического изменения электрического поля может варьироваться от сотни В/м до нескольких кВ/м в сезонных, а также в круглосуточных режимах.*

*Ключевые слова: электромагнитная радиация, профессиональное облучение, жилое облучение, допустимое время пребывания, экологическая нагрузка, геоинформационная карта.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В статье [10] был отмечен вопрос роста потребления электрической энергии в городе Шымкент, который напрямую связан со строительством новых промышленных предприятий, появлением новых свободных экономических зон, а также ростом населения, со структурными изменениями агломерационной среды. Важным вопросом, в данном случае, является проведение экспертизы с учетом нормативных и санитарно-эпидемиологических требований предъявляемых к строительству и введению в эксплуатацию электросетевых объектов, направленных на уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду [2, 9, 12, 13].

Одним из ключевых задач, при проведении мониторинга окружающей среды и выявлении негативных воздействия линий электропередач высокого напряжения (далее – ЛЭП), с точки зрения загрязнения экосистемы, является проведение сравнительного анализа с другими энергетическими объектами, которые функционируют уже несколько десятков лет. При проведении анализа для выявления радиационной опасности вокруг низкочастотных энергетических объектов на окружающую среду, а также при установлении предельно-допустимого уровня напряженности электрического поля, в качестве основных и оценивающих индикаторов, были взяты [1, 3, 4, 6, 9, 14]:

- расстояние рассматриваемого объекта от ЛЭП высокого напряжения;
- высотная зона распределения электрического поля, которую можно разделить на несколько зон с точки зрения строения ионных оболочек;
- время пребывания рабочего персонала, населения, а также жителей жилых домов в зонах электромагнитной радиации в зависимости от их местности облучения.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В статье в качестве исследуемого объекта был взят микрорайон Казгурт, расположенный в Западно-Центральной части города Шымкент. В данном районе проходят воздушные линии (далее – ВЛ) 220 кВ, от которых исходит

электромагнитное загрязнение в пространстве. В свою очередь радиационная зона создает ионные оболочки, которые загрязняют атмосферу, нарушая жизнеобеспечение окружающей среды.

Строительство таких объектов требует проведения глубокой экспертизы и разработки четких и обоснованных предложений по созданию безопасной зоны от его влияния на экосистему. Карта расположения линий электропередач высокого напряжения ВЛ-220 кВ приведена в статье [10].

Проведено обследование, которое позволило оценить негативные последствия от интенсивности излучения электрического поля в линиях электропередач высокого напряжения [4, 5, 6, 11, 12, 13].

В ходе проведения основных расчетов при определении уровня напряженности электрического поля, был применен метод зеркального изображения. Максимальная напряженность электрического поля составила 8 кВ/м, что превышает предельно допустимый уровень (далее – ПДУ) на 1,6 раз [1].

Общий вид опоры и воздушной линии напряжением 220 кВ (далее – ВЛ-220кВ) и место расположения жилых домов вокруг нее приведены на рис. 1.



Рисунок 1 – Общий вид опоры и ВЛ-220 кВ и место расположения жилых домов микрорайона Казыгурт

Карта электромагнитной обстановки микрорайона Казыгурт на примере 2 GIS представлено на рис.2

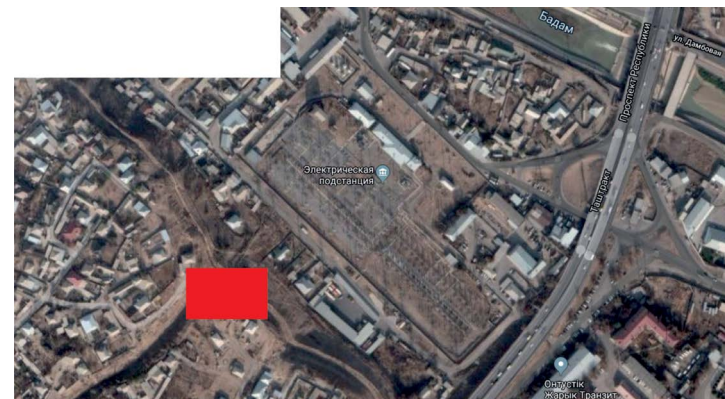


Рисунок 2 – Карта электромагнитной обстановки микрорайона Казыгурт на примере 2 GIS

Как было отмечено выше, время пребывания рабочего персонала и населения в зависимости от техногенной облучаемой местности играет важную роль при выявлении опасности радиационной зоны ионизирующего излучения на экосистему [3, 4, 5, 9, 12, 14].

Время пребывания рабочего персонала и населения в зависимости от их местности облучения в контролируемых зонах электромагнитного поля определяется формулами:

$$T_{\text{доп.проф}} = \frac{50}{E} - 2 \quad (1)$$

Где:  $E$  – напряженность электрического поля. Предельно допустимый уровень напряженности электрического поля для местности профессионального облучения составляет 5 кВ/м;

$T_{\text{доп.проф}}$  – допустимое время пребывания в контролируемых зонах влияния электрического поля, час.

ПДУ времени пребывания для данной местности составляет 8 ч.

$$T_{\text{доп.ж}} = \frac{20}{E} - 2 \quad (2)$$

$E$  – напряженность электрического поля.

ПДУ напряженность электрического поля для местности жилого облучения составляет 2 кВ/м

$T_{\text{доп.ж}}$  – допустимое время пребывания в контролируемых зонах влияния электрического поля, час.

ПДУ времени пребывания для данной местности составляет 8 ч.

Произведенные расчеты на примере микрорайона Казыгурт представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Параметры напряженности электрического поля, времени пребывания людей и расстояния от ионизирующего исследуемого объекта на примере профессиональной облучаемой местности

Е, кВ/м при h=1 м	Е, кВ/м при h=2 м	Е, кВ/м при h=4 м	Е, кВ/м при h=6 м	Тдоп. проф, час при h=1 м	Тдоп. проф, час при h=2 м	Тдоп. проф, час при h=4 м	Тдоп. проф, час при h=6 м	Расстояния от и.о., х, м
$4,202 \cdot 10^3$	$4,358 \cdot 10^3$	$5,104 \cdot 10^3$	$7,027 \cdot 10^3$	9,899	9,473	7,796	5,115	0
$3,972 \cdot 10^3$	$3,939 \cdot 10^3$	$4,223 \cdot 10^3$	$5,393 \cdot 10^3$	10,589	10,694	9,84	7,271	2
$3,771 \cdot 10^3$	$3,619 \cdot 10^3$	$3,713 \cdot 10^3$	$4,86 \cdot 10^3$	11,26	11,817	11,465	8,288	4
$3,811 \cdot 10^3$	$3,663 \cdot 10^3$	$3,861 \cdot 10^3$	$5,261 \cdot 10^3$	11,119	11,651	10,949	7,505	6
$3,945 \cdot 10^3$	$3,856 \cdot 10^3$	$4,213 \cdot 10^3$	$5,952 \cdot 10^3$	10,674	10,966	9,867	6,4	8
$3,891 \cdot 10^3$	$3,835 \cdot 10^3$	$4,165 \cdot 10^3$	$5,531 \cdot 10^3$	10,852	11,037	10,005	7,04	10
$3,561 \cdot 10^3$	$3,502 \cdot 10^3$	$3,652 \cdot 10^3$	$4,277 \cdot 10^3$	12,042	12,278	11,692	9,69	12
$3,064 \cdot 10^3$	$2,993 \cdot 10^3$	$2,985 \cdot 10^3$	$3,17 \cdot 10^3$	14,318	14,706	14,749	13,775	14
$2,541 \cdot 10^3$	$2,466 \cdot 10^3$	$2,38 \cdot 10^3$	$2,381 \cdot 10^3$	17,678	18,273	19,01	19	16
$2,064 \cdot 10^3$	$2,004 \cdot 10^3$	$1,894 \cdot 10^3$	$1,831 \cdot 10^3$	22,107	22,948	24,402	25,304	18

Таблица 2 – Параметры напряженности электрического поля, времени пребывания и расстояния от ионизирующего исследуемого объекта на примере жилой облучаемой местности

Е, кВ/м при h=1 м	Е, кВ/м при h=2 м	Е, кВ/м при h=4 м	Е, кВ/м при h=6 м	Тдоп. ж, час при h=1 м	Тдоп. ж, час при h=2 м	Тдоп. ж, час при h=4 м	Тдоп. ж, час при h=6 м	Расстояния от и.о., х, м
$4,202 \cdot 10^3$	$4,358 \cdot 10^3$	$5,104 \cdot 10^3$	$7,027 \cdot 10^3$	2,76	2,589	1,918	0,846	0
$3,972 \cdot 10^3$	$3,939 \cdot 10^3$	$4,223 \cdot 10^3$	$5,393 \cdot 10^3$	3,035	3,077	2,736	1,708	2
$3,771 \cdot 10^3$	$3,619 \cdot 10^3$	$3,713 \cdot 10^3$	$4,86 \cdot 10^3$	3,304	3,527	3,386	2,115	4
$3,811 \cdot 10^3$	$3,663 \cdot 10^3$	$3,861 \cdot 10^3$	$5,261 \cdot 10^3$	3,248	3,46	3,179	1,802	6
$3,945 \cdot 10^3$	$3,856 \cdot 10^3$	$4,213 \cdot 10^3$	$5,952 \cdot 10^3$	3,069	3,186	2,747	1,36	8
$3,891 \cdot 10^3$	$3,835 \cdot 10^3$	$4,165 \cdot 10^3$	$5,531 \cdot 10^3$	3,141	3,215	2,802	1,616	10
$3,561 \cdot 10^3$	$3,502 \cdot 10^3$	$3,652 \cdot 10^3$	$4,277 \cdot 10^3$	3,617	3,711	3,477	2,676	12
$3,064 \cdot 10^3$	$2,993 \cdot 10^3$	$2,985 \cdot 10^3$	$3,17 \cdot 10^3$	4,527	4,682	4,699	4,31	14
$2,541 \cdot 10^3$	$2,466 \cdot 10^3$	$2,38 \cdot 10^3$	$2,381 \cdot 10^3$	5,871	6,109	6,404	6,4	16
$2,064 \cdot 10^3$	$2,004 \cdot 10^3$	$1,894 \cdot 10^3$	$1,831 \cdot 10^3$	7,643	7,979	8,561	8,922	18

Зависимость допустимого времени пребывания людей в облучаемой местности, находящихся в контролируемых зонах влияния электрического поля от уровня интенсивности ее распределения приведены на рис. 3, 4.

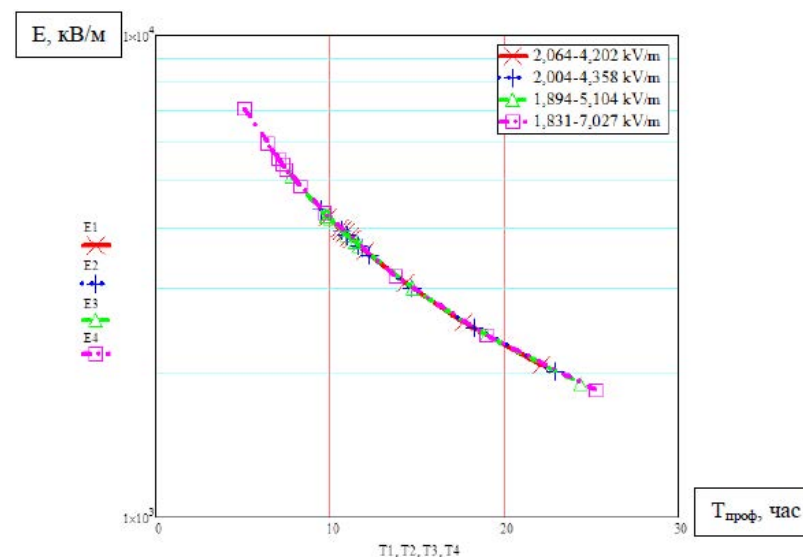


Рисунок 3 – Зависимость допустимого времени пребывания людей в профессиональной облучаемой местности от уровня интенсивности распределения электрического поля.  $E_1, E_2, E_3, E_4$  – разности напряженности электрического поля зависящая от высотной радиационной зоны его распределения, кВ/м  $T_1, T_2, T_3, T_4$  – разность допустимого времени пребывания людей в профессиональной облучаемой местности в зависимости от изменение уровня напряженности электрического поля, час

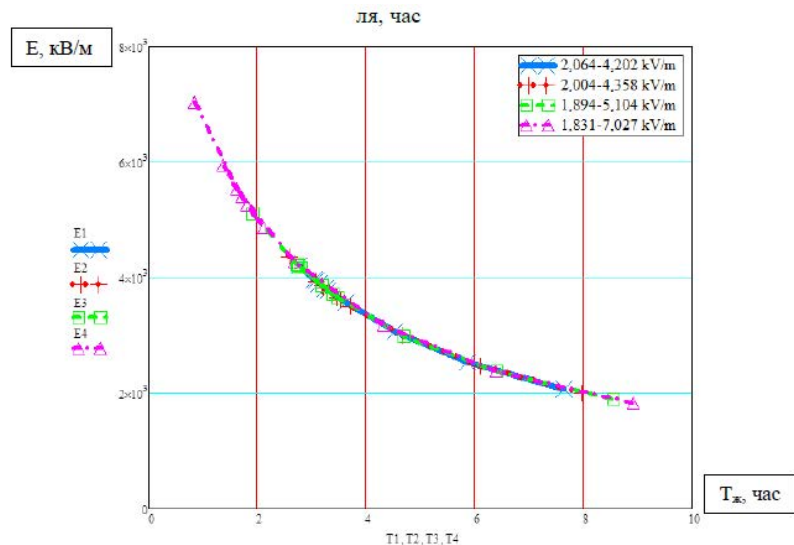


Рисунок 4 – Зависимость допустимого времени пребывания людей в жилой облучаемой местности от уровня интенсивности распределения электрического поля.

$E_1, E_2, E_3, E_4$  – разности напряженности электрического поля зависящая от высотной радиационной зоны его распределения, кВ/м  
 $T_1, T_2, T_3, T_4$  – разность допустимого время пребывания людей в жилищной облучаемой местности в зависимости от изменении уровня напряженности электрического поля, час

Картина распределения электрического поля по времени нахождения людей в профессиональной и жилищной облучаемой местности определяющая опасность электромагнитного излучения (далее – ЭМИ) представлены на рис. 4,5.

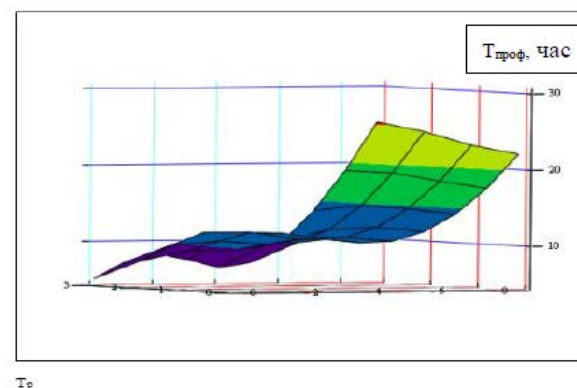


Рисунок 5 – Картина распределения электрического поля по времени пребывания людей в профессиональной облучаемой местности описывающая опасность ЭМИ

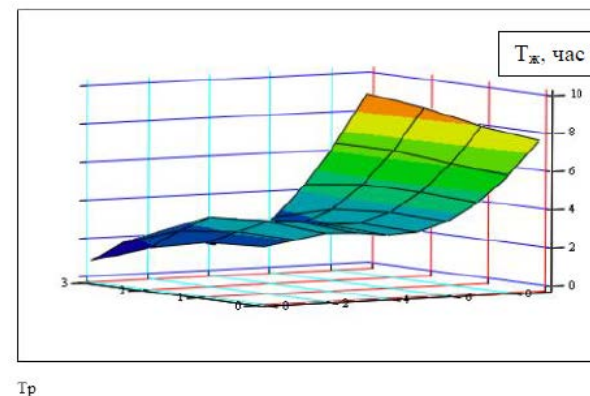


Рисунок 6 – Картина распределения электрического поля по времени пребывания людей в жилищной облучаемой местности описывающая опасность ЭМИ

$T_{проф}$  – время пребывания и проживания людей в зависимости от профессиональной облучаемой местности описывающая опасность ЭМИ, час  
 $T_{ж}$  – время пребывания и проживания людей в зависимости от жилой облучаемой местности описывающая опасность ЭМИ, час.

Произведены расчеты на определение допустимого биологического времени пребывания рабочего персонала и населения в течение дня в радиационных зонах с различной напряженностью электрического поля.

$$T_{np} = 8 \cdot \left( \frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right) \quad (3)$$

где:  $T_{np}$  – допустимое биологическое время пребывания рабочего персонала и населения в течение дня в радиационных зонах с различной напряженностью электрического поля, час;

$t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$  – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью  $E1, E2, \dots, En$ , час;

$T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$  – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон, час. В свою очередь ПДУ напряженности электрического поля имеет разные значения в зависимости от нахождения людей в жилой или профессиональной облучаемой местности.

Для жилой облучаемой местности:  $T_{np} = 7,982$  час при  $h = 1$  м;  $T_{np} = 7,666$  час при  $h = 2$  м;  $T_{np} = 6,874$  час при  $h = 4$  м;  $T_{np} = 5,07$  час при  $h = 6$  м

Для профессиональной облучаемой местности:  $T_{np} = 8,449$  час при  $h = 1$  м;  $T_{np} = 8,322$  час при  $h = 2$  м;  $T_{np} = 7,553$  час при  $h = 4$  м;  $T_{np} = 6,75$  час при  $h = 6$  м

## ВЫВОДЫ

В результате исследования была смоделирована картина распределения времени нахождения людей в зонах влияния напряженности электрического поля, определяющая вредность интенсивности радиационной зоны на биологическую активность людей.

В исследованиях были учтены возмущающие динамические факторы природного (ветер, гололед, падение и повышение температур окружающей среды) и техногенного характера (провисания проводов, повышения тепловых и электрических воздействий на проводах, качества изоляционных установок) которые непосредственно влияют на изменение уровня распространения электромагнитного излучения.

Кроме этого было определено допустимое биологическое время пребывания рабочего персонала и населения в течение дня в радиационных зонах с различной напряженностью электрического поля.

Полученные данные показывают, что уровень напряженности электрического поля при различных зонах ее распространения характеризуется вредным влиянием на здоровье человека, вызывающего риск зарождения различных заболеваний людей, проживающих или пребывающих вблизи линий электропередач высокого напряжения в зависимости от облучаемой местности. Логико-вероятностная модель возникновения риска различных травм у рабочего персонала и населения будет предметом следующих исследований.

Применение цифровой карты на примере 2 GIS, позволила точно оценить электромагнитную обстановку на определенной территории, в нашем случае в микрорайоне Казыгурт.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

1 **Довбыш, В. Н., Маслов, М. Ю., Сподобаев, М. Ю.** Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем. – Самара : ООО «ИПК «Содружество», 2009. – 198 с.

2 **Свиридова, Е. Ю.** Экологический мониторинг и повышение электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи линий электропередачи (на примере города Ногинска). – Москва : Московский государственный технический университет «МАМИ», 2012. – 107 с.

3 **Таваров, С. Ш.** Защита линейного персонала, обслуживающего линий электропередачи напряжением 500 кВ в Республике Таджикистан. – Челябинск : Южно-Уральский Государственный Университет, 2014. – 115 с.

4 **Шаврина, Н. А.** Электромагнитная обстановка вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения. – Челябинск : Южно-Уральский Государственный Университет, 2007. – 236 с.

5 **Дюсебаев, М. К.** Обеспечение экологической безопасности при эксплуатации электрооборудования ЛЭП и подстанций высокого напряжение. – Алматы : НАО «АУЭС». – 2014. – 102 с.

6 Deadman J-E, Armstrong BG, McBride ML, Galagher R, The'irault G Exposures of children in Canada to 60 – Hz magnetic and electric fields. – Scan J Work Environ Health, 2019. – P. 368–375. – ISSN: 0355-1340. – doi: 10.5271/sjweh.447,

7 Elizabeth Lindberg The overhead Line Sag Dependence on Weather Parameters and Line Current.– Department of Earth Sciences, Geotryckeriet, Uppsala University, 2011. – 61 p.

8 Jiapeng Liu, Hao Yang, Shengjie Yu, Sen Wang, Yu Shang and Fan Yang Real Time Transient Thermal Rating and the Calculation of Risk Level of Transmission Lines. / Energies, 11,1233; 2018. – P. 1–14. doi: 10.3390/en11051233,

9 **Куренкова, Г. В.** Неионизирующие электромагнитные излучения как неблагоприятный фактор производственной среды, Иркутский государственный медицинский университет. – Иркутск : ИГМУ, 2013. – 98 с.

10 **Файз, Н. С., Сатаев, М. И., Бердалиева, А. А., Азимов, А. М.** Оценка уровня электромагнитного загрязнения, порождаемого линией электропередач высокого напряжения на примере Северной и Северно-

Центральной части города Шымкент.– Вестник Алматинского Университета энергетики и Связи, «АУЭС». – № 4(47). – 2019. – С. 220–229.

11 **Bardu, R. A., Olorunyomi, K. P., Salau, A. O., Akanwale, O. I., Alwadood, J., and Atijosan, A. O.** Evaluation of electric field pollution 132 kVA Power Transmission Lines to Proximity of Infrastructures in Ibadan, Nigeria. – Bilge International Journal of Science and Technology Research, ISSN: 2587-0742, 2017. – P. 46–58.

12 Wafa Tourab, Abdesselam Babouri Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines. – Safety and health at Work, 2016. – P. 102–110.

13 **Palaniswamy, R., Veluchamy, C.** Investigation of influences of Environment Electromagnetic Field Irradiated by High –Voltage Transmission on the health of Human and Animals. Environ Sci Ind J. 2017; 13(4):140.

14 **Скоробогатая, И. В., Леонович, Э. И.** Гигиеническая оценка электромагнитных полей. – Минск : Белорусский Государственный Медицинский Университет, БГМУ, 2018. – 38 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Н. С. Файз<sup>1</sup>, М. И. Сатаев<sup>2</sup>, А. М. Азимов<sup>3</sup>, А. А. Бердалиева<sup>4</sup>, О. Я. Никонов<sup>5</sup>*

**Жоғарғы кернеулі электр желілерінде электр өрісінің канцерогендік қаупі**

<sup>1,2</sup>Құрылыс және көлік факультеті,

М. О. Әуезов атындағы

Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,  
Шымкент қ., 160012, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>Механика және мұнай газ ісі факультеті,

М. О. Әуезов атындағы

Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,  
Шымкент қ., 160012, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Ақпараттық технологиялар және Энергетика жоғары мекететі

М. О. Әуезов атындағы

Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,  
Шымкент қ., 160012, Қазақстан Республикасы;

<sup>5</sup>Механика факультеті,

Харьков автокөлік-жол ұлттық университеті,

Харьков қ, 61002, Украина Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*N. S. Faiz<sup>1</sup>, M. I. Satayev<sup>2</sup>, A. M. Azimov<sup>3</sup>, A. A. Berdalieva<sup>4</sup>, O. Ya. Nikonov<sup>5</sup>*

**Carcinogenic risk electric fields on the example of high-voltage power lines**

<sup>1,2</sup>Faculty of Building and Transport,

M. O. Auevov South Kazakhstan State University,  
Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Faculty of Mechanics and Petroleum Engineering,

M. O. Auevov South Kazakhstan State University,  
Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Information Technology and Energetic Scientific School,

M. O. Auevov South Kazakhstan State University,  
Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan;

<sup>5</sup>Faculty of Mechanics,

Kharkiv National Automobile and Highway University,

Kharkiv, 61002, Republic of Ukraine.

Material received on 04.06.20.

*Ғылыми мақалада, төменгі жиіліктегі энергетикалық нысандардан тарайтын электромагниттік сәулеленудің антропогендік ортадағы канцерогендік қаупін анықтауға бағытталған. Электр өрісінің таралу деңгейіне байланысты, адамдардың зиянды ортада орналасу немесе табылу уақыты қарастырылған. Ол өз кезегінде электр өрісінің адамдардың биологиялық белсенділігіне және ортаның қауіптілігіне байланысты әр түрлі деңгейдегі ауруларға ұшырауымен түсіндіріледі.*

*Уақыт факторы негізінде құрылған математикалық модель – электромагниттік сәулелену деңгейіне байланысты адамдардың ауру көрсеткішін анықтауға мүмкіндік берді.*

*Жоғарғы кернеулі электр желілеріне объективті экологиялық мониторинг жүргізу кезінде, таңдалынған аудандардың климаттық және метеорологиялық ерекшеліктерін басшылыққа алу қажет. Маусымдық және тәуліктік режимдерге байланысты электр желілері ондаған В/м-ден кВ/м-ге дейін ауытқушылыққа ұшырауы мүмкін.*

*This article is aimed at identifying potential risks of a carcinogenic nature on the anthropogenic environment, which is created by the spread of electromagnetic radiation in low-frequency energy facilities. Questions were considered about the time people spent in the zones of influence of the electric field, depending on the level of intensity of its distribution. This*

*is due to the fact that the intensity of the electric field is the main factor of electromagnetic radiation, which reduces the biological activity of people, causing various types of disease.*

*A mathematical model based on the time factor was created, which allowed us to estimate the level of growth of the disease from the observed ability generated by electromagnetic radiation.*

*Conducting objective environmental monitoring by inspecting high-voltage power lines requires taking into account the climatic and meteorological features of the selected area. The range of periodic changes in the electric field can vary from hundreds of  $V/m$  to several  $kV/m$  in seasonal and round-the-clock modes.*

ГРНТИ 44.31.01

**В. Я. Федянин<sup>1</sup>, А. Д. Умурзакова<sup>2</sup>, А. Т. Жумагажинов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, зав. научно-исследовательской лабораторией «Региональные проблемы малой энергетики», Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, г. Барнаул, 656038, Российская Федерация;

<sup>2</sup>PhD, доцент, Инженерно-технологический факультет, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>м.т.н., ст. преподаватель, Инженерно-технологический факультет, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>fedyanin054@mail.ru; <sup>2</sup>granat\_72@mail.ru;

<sup>3</sup>zhumagazhinov1970@mail.ru

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИОГАЗА**

*В данной работе представлены результаты использования ультразвуковых технологий при получении биогаза из навоза крупного рогатого скота (КРС). Определены потенциальные возможности выработки биогаза в аграрном секторе исходя из поголовья скота, эквивалентные показатели энергоресурсов Энергетическая эффективность метанового сбраживания оценена путем сопоставления объема полученного топлива (биогаз) и расхода тепла на технологические нужды.*

*Ключевые слова: биогаз, сбраживание, органические отходы, ультразвук, режим эксплуатации.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие агропромышленного комплекса требует непрерывной и устойчивой энергии для фермерских хозяйств и небольших населенных пунктов. Одним из направлений применения местных биоресурсов является переработка отходов сельского хозяйства таких как навоз и перерабатывающих предприятий в виде отходов органического происхождения с получением биогаза и удобрений. Биогаз имеет значительные экологические преимущества с точки зрения производства тепла и электроэнергии и ее использования в качестве биотоплива. Биогазовые установки, основанные на ультразвуковых технологиях, могут внести существенный вклад в развитие агропромышленного комплекса.

На процесс образования биогаза влияют: температура, состав органических отходов, время процесса метаногинеза, а также дополнительные стимуляторы.

Применение ультразвуковых технологий в основном сосредоточены в коммунальном хозяйстве при получении биогаза, с предварительной обработкой осадков сточных вод [1, 2]. Также для интенсификации процесса сбраживания навоза добавляли различные стимуляторы процесса в виде – фруктовых и овощных отжимов, пищевых отходов [3, 4].

Ультразвук оказывает на биологические системы механическое, физическое и химическое воздействие [5]. Предварительная обработка ультразвуком органических отходов ускоряет стадии, лимитирующие скорость ферментативного гидролиза твердых веществ [6].

В работах, [7, 8] отражено изменение интенсивности выхода биогаза после предварительной обработки субстрата, что свидетельствует о биоразлагаемости органического вещества под воздействием ультразвука

Известны ультразвуковые системы Ultrawaves GmbH [9], которые используются в сельскохозяйственных биогазовых установках, для усиления анаэробной биологической деградации.

Цель данной работы – оценить потенциальные возможности выработки биогаза в аграрном секторе с применением ультразвуковых технологий

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Обработка ультразвуком проводилась при интенсивности воздействия 10 Вт/см<sup>2</sup> и при расходе энергии 9350 кДж/кг СВ. Время, необходимое для обработки ультразвуком рассчитывается как функция от объема подачи и общего количества твердых веществ [10].

Для всех опытах суточная доза загрузки 10 %.

Наблюдения за непрерывным процессом метанового сбраживания показали, что субстрат с закваской обработанный ультразвуком микроорганизмы отличались высокой ферментативной активностью, распад ОВ составил 23,3 г/л загрузки навоза в сутки, удельный выход газа – 1,82 л/л в сутки при рН 7,5–7,80. Обычный субстрат, субстрат обработанный ультразвуком и субстрат с закваской распад ОВ составил 18,6, 18,9 и 19,1 г/л загрузка навоза в сутки, удельный выход газа – 0,6, 1,02 и 1,24 л/л в сутки соответственно при рН 7,62–8,14, 7,48–7,68, и 7,36–7,78.

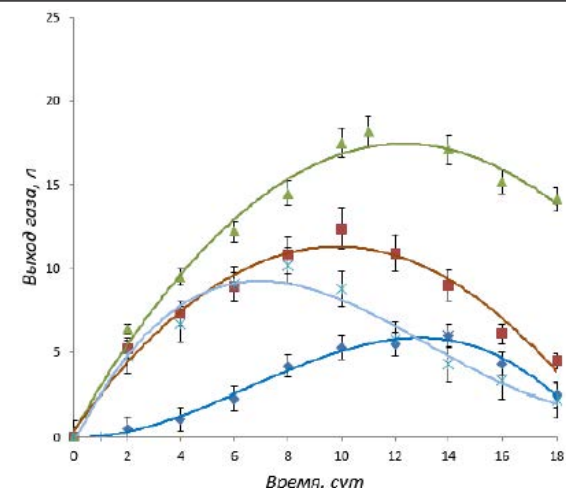


Рисунок 1 – Выход газа

Экономическую эффективность метанового сбраживания навоза можно рассчитать по сравнительному расходу тепла на технологические нужды обычного субстрата, с закваской и обработанного ультразвуком применительно к ферме крупного рогатого скота.

Для установления конкретных цифровых данных по производительности необходим анализ размеров ферм. Использовали статистические данные по всем фермам крупного рогатого скота, откормочным и молочным (последние существенно преобладают) [11].

Принята ферма на 600 гол. с общим суточным выходом навоза 21 т.

Расчеты биогазовой установки проводили по [12, 13]

Доза загрузки ( $D_{сут}$ ) – 10 %; удельный выход биогаза соответственно режимам ( $v_{уд}$ ).

Результаты расчетов представлены в табл.1. и на рис.2, 3.

Таблица 1 – Сравнительный расход тепла на технологические нужды при различных режимах сбраживания

Показатель	Режимы сбраживания навоза			
	Субстрат	Субстрат обработанный ультразвуком	Субстрат с закваской	Субстрат с закваской и обработкой ультразвуком
Общий объем метантенка, м <sup>3</sup>	221	221	221	221



Доза суточной загрузки, %	10	10	10	10
Содержание метана, %	60	61,2	61	61,8
Удельный выход биогаза, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> в сутки	0,6	1,02	1,24	1,82
Суточный выход биогаза, м <sup>3</sup>	133	225	274	402
Тепловой эквивалент полученного газа, МДж/сут	2785	4509	5756	8449
Расход энергии, МДж/сут:				
на подогрев навоза	158	158	158	158
на компенсацию потерь	254	254	254	254
для перемешивания биомассы	318	80	318	80
для питания ультразвуковой установки	-	90	-	90
Общий расход энергии, МДж/сут:	730	582	730	582
Избыток тепла (товарная энергия), МДж/сут	2055	3927	5026	7867
Примечание. поголовье крупного рогатого скота – 600, суточный выход навоза – 21 м <sup>3</sup>				

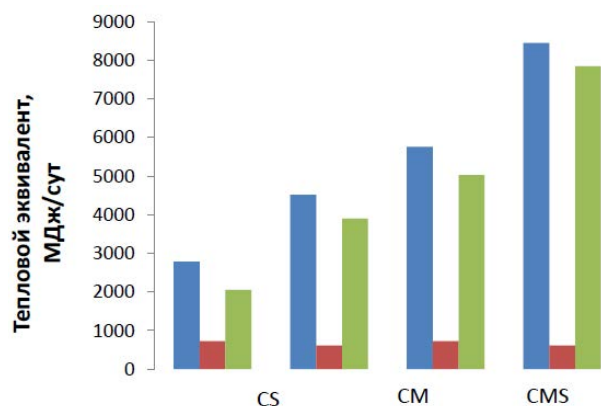
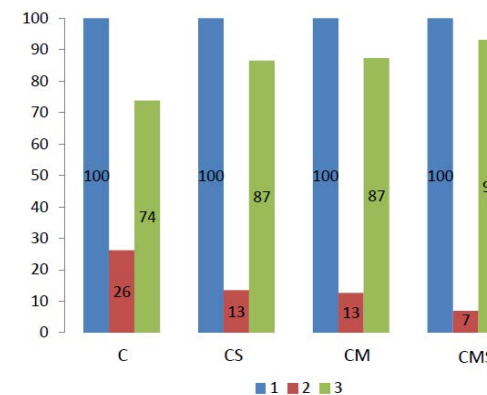


Рисунок 2 – Тепловой баланс биогазовой установки в абсолютных значениях



1 – тепловой эквивалент полученного газа (100 %); 2 – расход тепла на собственные нужды установки; 3 – избыток тепла (товарная энергия).

Рисунок 3 – Тепловой баланс биогазовой установки в процентах

### ВЫВОДЫ

Применение стимуляторов брожения увеличивают выход энергии на единицу объема биореактора, с соответствующим увеличением потенциала фермерских хозяйств на 30 %.

Результаты расчета рассмотренных режимов эксплуатации, приведенные в табл. 1 и на рис. 2, 3, свидетельствуют о том, что лучшим вариантом является метановое сбраживание навоза, обработанного ультразвуком с закваской

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кузнецов, И. Н., Шкодов, Т. В., Ручай, Н. С. Исследование эффективности ультразвуковой и ферментативной предобработки осадков сточных вод городских очистных сооружений при получении биогаза // Труды БГТУ., Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2018. – № 1. – С. 161–166.

2 Chu, C. P., Chang, B., Liao, G. S., Jean, D. S., Lee, D. J. Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge // Water Res. 2001. – No. 35. – P. 1038–1046.

3 Callaghan, F. J., Wase, D.A.J., Thayanithy, IC, Forster, C. F. Continuous codigestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure / Biomass Bioenergy 22 (1), 2002. 71–77.

4 **Quiroga, G., Castrillón, L., Fernández-Nava, Y., Marañón, E., Negral, L., Rodríguez-Iglesias, J., Ormaechea, P.** Effect of ultrasound pre-treatment in the anaerobic co-digestion of cattle manure with food waste and sludge / *Bioresource Technology*. – Vol. 154. – February 2014. – P. 74–79.

5 **Хмелев, В. Н.** Применение ультразвука авысокой интенсивности в промышленности / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

6 **Kasaai, M.** Input power-mechanism relationship for ultrasonic Irradiation : Food and polymer applications. *Natural Science*. – 5. 2013. 14–22.

7 **Чугунов, А. Д.** Результаты опытных лабораторных исследований «Влияние ультразвуковой предобработки субстрата на биометаногенез» // ООО «ГИЛЬДИЯ М» [Электронный ресурс]. – URL: <http://gildiam.ru/ru-ru/Left/articles/rezultati> (дата обращения: 25.12.2019).

8 **Караева, Ю. В., Миндубаев, А. З., Исламова, С. И., Камалов, Р. Ф., Марфин, Е. А.** Влияние ультразвуковой обработки на эффективность процесса получения биогаза // *Энергосбережение и водоподготовка*. – 2018. – № 1. – С. 60–66.

9 **Citation: Talha Z, Hamid A, Guo D, Hassan M, Mehryar E, Okinda C, et al.** Ultrasound assisted alkaline pre-treatment of sugarcane filter mud for performance enhancement in biogas production / *Int J Agric&BiolEng*, 2018; 11(1): 226–231.

8 **Saifuddin, N., S.A. Fazlili.** Effect of Microwave and Ultrasonic Pretreatments on Biogas Production from Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent *American J. of Engineering and Applied Sciences*. 2 (1): 2009. 139–146.

9 **ULTRAWAVES GmbH** Water & Environmental Technologies Hamburg, Germany. [Электронный ресурс]. – [www.ultrawaves.de](http://www.ultrawaves.de). (Дата обращения 21.10.2019).

10 **Жумагажинов, А. Т., Федянин, В. Я.** Влияние ультразвука на выход биогаза при разных режимах метанового сбраживания навоза КРС. [Текст] // *Южно-Сибирский научный вестник* – 2019. – № 4 (28) – С. 51–54.

11 Официальный интернет-ресурс Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан – 2019. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://mgov.kz/zhivotnovodstvo/> (Дата обращения 02.02.2019).

12 **Амерханов, Р. А.** Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства / Р. А. Амерханов, Б. Х. Драганов. – Краснодар, 2001. – 200 с.

13 **Хамоков, М. М.** Методика определения теплового баланса метантенка биогаза-гумусной установки / М. М. Хамоков, А. Г. Фиапшев // *Материалы международной научно-практической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве»*, – М., 2006, – С. 88–95.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*В. Я. Федянин<sup>1</sup>, А. Д. Умурзакова<sup>2</sup>, А. Т. Жумагажинов<sup>3</sup>*

**Биогаз өндірісінде ультрадыбыстық технологияларды қолдану тиімділігі**

<sup>1</sup>Ползунов атындағы

Алтай мемлекеттік техникалық университеті,

Барнаул, 656038, Ресей Федерациясы;

<sup>2,3</sup>Инновациялық Еуразия университеті,

Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*V. Ya. Fedyanin<sup>1</sup>, A. D. Umurzakova<sup>2</sup>, A. T. Zhumagazhinov<sup>3</sup>*

**Efficiency of using ultrasonic technologies in the production of biogas**

<sup>1</sup>Polzunov Altai State Technical University (AltSTU),

Barnaul, 656038, Russian Federation;

<sup>2,3</sup>Faculty of Engineering and Technology,

Innovative University of Eurasia,

Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Бұл жұмыста ірі қарамалдың (ІҚМ) тезектен биогазалу кезінде ультрадыбыстық технологияларды қолдану нәтижелері ұсынылған.*

*Аграрлық секторда биогаз өндірудің әлеуетті мүмкіндіктері анықталды: мал басына, энергия ресурстарының баламалы көрсеткіштеріне сүйене отырып.*

*Метанды ашытудың энергетикалық тиімділігі алынған отын (биогаз) көлемін және технологиялық қажеттіліктерге жылу шығынын салыстыру жолымен бағаланды.*

*This paper presents the results of using ultrasonic technologies for obtaining biogas from cattle manure.*

*Potential possibilities of biogas production in the agricultural sector are determined based on: livestock, equivalent indicators of energy resources.*

*The energy efficiency of methane fermentation was estimated by comparing the volume of fuel obtained (biogas) and the heat consumption for technological needs.*

**Б. Е. Хамзина<sup>1</sup>, С. А. Мендыбаев<sup>2</sup>,  
К. К. Наурызбаев<sup>3</sup>, А. Б. Сагындык<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>д.п.н., доцент, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>магистрант, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

<sup>4</sup>PhD, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгыров г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>be\_khamzina@mail.ru; <sup>2</sup>seke47@mail.ru; <sup>3</sup>kenesary77@gmail.com;

<sup>4</sup>aiko\_90@mail.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В SIP CARBON**

*Моделирование является одним из ключевых категорий современной теории познания и проектно-инженерной практики. В работе представлен сравнительный обзор и анализ существующих эмуляторов, а также обоснование выбора Sip Carbon, как платформы для моделирования беспроводных сетей для Интернет вещей.*

*Ключевые слова: моделирование, интернет вещей, эмулятор, беспроводная сеть, датчик.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня развитие систем сбора и обработки информации происходит стремительно, растет количество приборов, оснащенные датчиками, для обмена информацией с обрабатывающими центрами и друг с другом. Доступ к Интернету становится все более доступным, снижается стоимость подключения устройств, а затраты на технологии становятся экономически эффективными. Поэтому сегодня, Интернет вещей (IoT), как концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных

встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривает организацию таких сетей для решения производственных и образовательных задач [1]. Например, в современных автомобилях работают сразу несколько сетей: одна управляет работой двигателя, другая – системами безопасности, третья поддерживает связь и т.д. В офисных и жилых зданиях также устанавливается множество сетей для управления отоплением, вентиляцией, кондиционированием, телефонной связью, безопасностью и освещением. По мере развития IoT, многие сети будут подключаться друг к другу и приобретать все более широкие возможности в сфере безопасности, аналитики и управления. Анализ IoT-технологии [1] позволил выявить специфику информационного взаимодействия в сетях Интернет вещей и невозможности применения моделей и алгоритмов традиционных компьютерных сетей к сетям Интернет вещей.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Повсеместное создание компьютерных сетей для обеспечения пользователей удаленным доступом к ресурсам сети обуславливает резкое развитие моделирования сетей с помощью программных эмуляторов. Фактически все компании, имеющие более одного компьютера, объединяют их в локальные сети, чтобы она работала бесперебойно, была надёжной, лучше обрабатывала информацию, циркулирующую между сотрудниками компании, и позволяла принимать им значимые и оптимальные решения. Для этого разрабатывается сетевое оборудование, как разные маршрутизаторы, коммутаторы различных уровней. Так появилась необходимость в применении программных эмуляторов сетевого оборудования для создания и администрирования моделей сетей.

Рассмотрим функциональный потенциал самых распространенных сегодня эмуляторов, как Cisco Packet Tracer и UNetLab. Cisco Packet Tracer – это мощный программный эмулятор, дающий возможность пользователям моделировать сети, организовывая их с практически безграничным количеством устройств, находить применение оборудованию и настраивать его под определенные задачи той или иной среды. Программа дает возможность выработке качества скорости принятия решения, креативного подхода и критического мышления, настраивать конфигурацию и устранять неполадки сетей с применением виртуального оборудования и имитацией соединения.

Не смотря на столь большие преимущества данного программного эмулятора, он обладает рядом недостатков, что делает его применение некорректным для моделирования сетей IoT, например, отсутствие

возможности моделирования в 2D/3D среде добавления городских и естественных помех; не полная эмуляция IOS; практически всё, что выходит за рамки CCNA, на нем собрать тоже не получится [2], возможные проявления разнообразных глюков, которые лечатся только перезапуском программы [3].

В учебно-образовательном процессе с помощью данного программного продукта преподаватели и студенты могут придумывать, строить, конфигурировать сети и производить в них поиск неисправностей, так как он дает возможность более подробно представлять новейшие технологии, тем самым делая учебный процесс полезным с точки зрения усвоения материала.

Таким образом, анализ функциональных возможностей эмулятора Cisco Packet Tracer, как платформы для моделирования сетей, показал, что данный эмулятор имеет ряд недостатков, что делает его не применимым для IoT.

Рассмотрим программный эмулятор UNenLab (Unified Networking Lab, UNL) – это многопользовательская платформа для создания и моделирования самых различных лабораторий и дизайнов, позволяющая смоделировать виртуальную сеть из маршрутизаторов, коммутаторов, устройств безопасности и др. Использование и анализ данного эмулятора, выявил существенные плюсы в возможности его применения: полностью бесплатен; практически полноценная поддержка L2; широкая поддержка Cisco оборудования; число запускаемых узлов ничем неограничен; многопользовательский функционал; низкие требования к ресурсам ПК и т.д.

В образовательных целях, данная платформа подойдет как новичкам для подготовки к CCNA/CCNP, так и для профессионалов для подготовки CCIE Routing and Switching, CCIE Security, CCIE Service Provides, CCIE Data Centers и т.д, а также для других разнообразных инженерных и образовательных задач [4].

В отличие от предыдущего эмулятора IOU-WEB, в UNetLAB реализован полностью графический интерфейс дизайна топологии, как в GNS, т.е. нет необходимости писать команду netmap для каждой топологии. Сегодня UNetLab остается лучшим инструментом как для подготовки к CCNP/CCIE, так и для моделирования разнообразных инженерных задач. Стоит отметить и ряд его существенных недостатков, как трудоемкий процесс установки; отсутствие процесса визуализации моделирования; отсутствие возможности использования на реальных картах местности; отсутствие совместимости с предыдущим проектом программы; отсутствие добавления городских и естественных помех в процесс моделирования.

Проведенный функциональный и сравнительный анализ эмуляторов CiscoPacketTracer и UnetLab, выявил, что данные эмуляторы не удовлетворяют требованиям, предъявляемые при моделировании сетей для IoT, так как

они не визуализируют процесс моделирования, не имеют возможности использования на реальных картах местности и добавления городских и естественных помех.

Изучим альтернативную имплатформу CupCarbon-Lab, основанную на существующем симуляторе CupCarbon, предназначенная для проектирования и моделирования беспроводных сенсорных сетей для приложений Smart-city и IoT. Она должна позволить проверять распределенные алгоритмы в 2D/3D-среде с учетом городских зданий, в которых будут развернуты сети, мобильные телефоны, использовать точные модели распространения радиоволн и помех в этой среде [4]. Платформа может автоматически генерировать из программного обеспечения реальную сеть IoT, даже если она уже развернута, перенастроить без необходимости прохождения через каждый узел, а также поможет проверить выполнимость и масштабируемость алгоритма в реальных условиях [1].

Это универсальная система и имитатор беспроводной сенсорной сети дискретных событий. Сети можно конструировать и проектировать в эргономичном удобном интерфейсе с использованием OpenStreetMap путем развертывания датчиков непосредственно на карте.

Основными задачами CupCarbon являются также и образовательные, т.е. оказание помощи тренерам и преподавателям объяснить основные концепции IoT, работу сенсорных сетей, проверить беспроводные топологии, протоколы, изучить поведение сети и ее элементов, например, для изучения схемы питания каждого датчика и всей сети в целом, расчета силовых схем и отображения, как функции от смоделированного времени.

Проектирование сетей на этой универсальной системе и имитаторе беспроводной сенсорной сети дискретных событий является более реалистичным по сравнению с рассмотренными нами ранее эмуляторами, как CiscoPacketTracer и UnetLab [6]. Они используются главным образом для разработки новых протоколов маршрутизации, но в контексте «умных городов» и IoT, их модели радиоканалов и помех очень просты и не учитывают реальную городскую среду, а также они не интегрируют визуализацию, чтобы легко проверить разработанный алгоритм (Рисунок 1).

Возможности эмулятора	Cisco Packet Tracer	UnetLAB	CupCarbon
Симуляция сети в режиме реального времени	✓	✓	✓
Добавление естественных условий	—	—	✓
Работа в 3-D среде	—	—	✓
Поддержка картографии	—	—	✓

Рисунок 1 – Сравнительный анализ эмуляторов беспроводной сети

Основным вкладом использования CupCarbon для проектирования сети является сохранение очень короткого времени моделирования с учетом 3D, точно смоделированного радиоканала с воздействием препятствий на окружающую среду и реалистичной оценки помех. Платформа была разработана со следующими целями: изучение развертывания беспроводных сенсорных сетей с учетом мобильности и доступности спектра; имитация производительности и услуг беспроводной сенсорной сети в 2D/3D реалистичной среде; изучение возможностей связи, надежности сети и ее стоимости; обнаружение любых зон помех для улучшения качества развертывания; точное и быстрое моделирование распространения радиосигнала в реальной городской среде.

Поскольку прогнозируется, что в ближайшем будущем более 50 % населения будет проживать в городах, то количество подключенных устройств значительно возрастет, что приведет к использованию большого количества устройств, осуществляющих беспроводную связь. Поэтому наша среда будет насыщена с точки зрения коммуникационных сигналов и спектра. Это может быть ограничением для любой будущей установки WSN. Именно поэтому необходимо тщательно изучить любой новый проект перед его реальной установкой. Для этого необходимо использовать симуляторы для изучения влияния, с точки зрения перегрузки и безопасности беспроводного сигнала, для любой новой установки до ее реального развертывания.

В качестве эксперимента для моделирования сети в программном эмуляторе CupCarbon была выбрана городская местность с возможными

радио помехами и построениями, возможно блокирующими передачу сигнала. Моделирование сетей проводилось для жилого комплекса (ЖК) Жагалау в Акмолинской области, городе Нур-Султан. Данный ЖК обслуживается коммунальным кооперативом «Арман», в обязанности которого входят и инженерные работы, как обслуживание системы отопления, узлов водоснабжения, технических узлов, электротехнического оборудования и уход за придомовой территорией. В своей деятельности, обслуживающая организация «Арман» сталкивается с некоторыми проблемами, как не рациональное потребление электроэнергии, частые затопы подвальных помещений и несвоевременный полив дворовых насаждений.

Нами, с целью решения образовательной и инженерной задач, на основе знания современного развития концепции IoT, была поставлена задача смоделировать на эмуляторе CupCarbon беспроводную сенсорную сеть (для одного дома ЖК) из трех датчиков и одного приемника на платформе Arduino и оценить ее работу для выбранного нами объекта. Для рационального расхода электроэнергии в подъездных площадках было решено установить датчики движения, для регулирования освещенности подъезда. Для выявления и своевременного устранения затопления в подвальном помещении дома запланированы установка датчиков протечки воды, а для своевременного полива дворовых насаждений – датчики влажности почвы. Датчики были выбраны фирмы WavGat, недорогие и обладающие оптимальными характеристиками. В качестве приемника сигналов с датчиков, был выбран модуль с приемом сигнала до четырех датчиков.

Для создания модели сети в симмуляторе создается новый проект, где добавляем четыре сенсорных узла, таким образом, чтобы они находились в радиусе их взаимодействия (Рисунок 2).

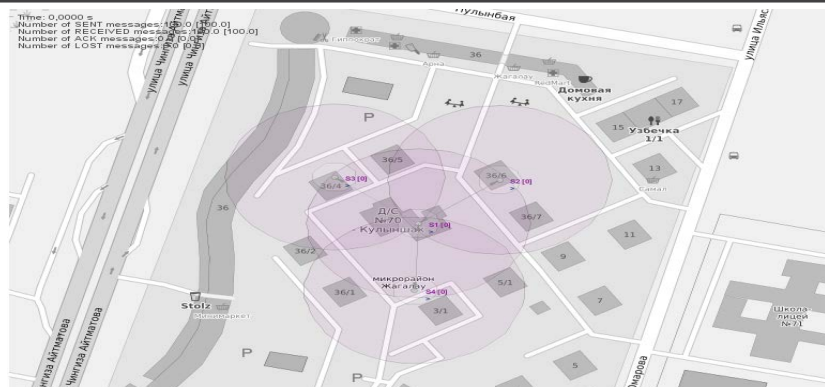


Рисунок 2 – Сенсорные узлы

В радио параметрах присваиваем каждому узлу свой номер, затем добавляем скрипт для первого и второго сенсорных узлов, как приемника и сохраняем.

Следующим шагом является применение скрипта для сенсорных узлов и запуск симуляции смоделированной сети. После окончания моделирования на экране высветится надпись End of Simulation (Рисунок 3).

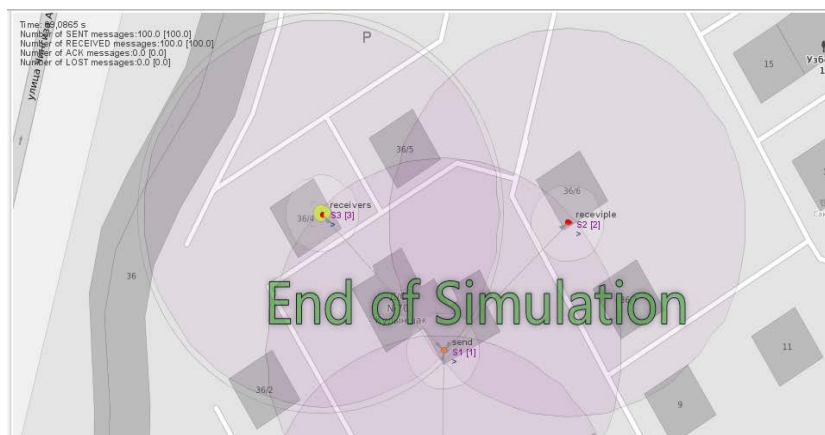


Рисунок 3 – Результат моделирования

Далее генерируется Arduino-код для программирования модулей Arduino в программаторе. Таким образом, сеть наша смоделирована, т.е. сгенерирован код для программирования беспроводных сенсорных узлов.

Смоделированная сеть на симуляторе визуализирует результат, подтверждает выполнимость проекта и масштабируемость ее выполнения в реальных условиях. Затем после реального проектирования этой сети, работник обслуживающей компании видит на экране компьютера информацию, поступающую с этих датчиков, и может своевременно предотвратить, возникшие проблемы в ЖК Жагалау.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, симулятор CupCarbon является платформой, где коды, используемые в симуляции, могут быть непосредственно введены в реально подключенные встроенные карты, которая автоматически генерирует из программного обеспечения реальную сеть IoT, а также помогает проверить выполнимость и масштабируемость алгоритма в реальности.

CupCarbon – эта платформа с помощью которой можно объяснить и понять основную концепцию IoT, работу сенсорных сетей, научиться конструировать и проектировать реалистичную сеть в эргономичном удобном ее интерфейсе путем разворачивания датчиков непосредственно на карте, а затем реализовать ее в реалии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Сети IoT/M2M: технологии, архитектура и приложения [Текст] = IoT/M2M: Networks: technologies, architecture and applications / В. О. Тихвинский, В. А. Коваль, Г. С. Бочечка, А. И. Бабин. – М. : Медиа Паблишер, 2017. – 319 с.

2 Администрирование сетей. Программа Cisco «CCNA Routing and Switching» [Текст]: учебное пособие и лабораторный практикум для студентов Инженерно-экономического института / А. Ю. Невский, О. Р. Баронов, А. Ю. Модорский; Инженерно-экономический институт Национального исследовательского университета «МЭИ». – М. : ВНИИГсистем, 2018. – 95 с.

3 Проектирование и анализ вычислительных сетей в программном продукте Cisco Packet Tracer [Электронный ресурс]: электронное учебное издание: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Основы телекоммуникаций» / Аксенов А. Н.; МГТУ им. Н. Э. Баумана.

4 Официальное руководство по подготовке к сертификационным экзаменам CCENT/CCNA ICND1 = CCENT/CCNA ICND1 Official Exam Certification Guide. – 2-изд. – М. : Вильямс, 2008. – 572 с.

5 Massinissa Saoudi, Ahcène Bounceur, Farid Lalem, Reinhardt Euler, M-Tahar Kechadi, Abdelkader Laouid, Madani Bezoui, Marc Sevaux, D-LPCN: A Distributed Least Polar-angle Connected Node Algorithm for Finding the

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Б. Е. Хамзина<sup>1</sup>, С. А., Мендыбаев<sup>2</sup>, К. К. Наурызбаев<sup>3</sup>, Ә. Б. Сағындық<sup>4</sup>*  
**Cup Carbon бағдарламасында сымсыз желіні үлгілеу**

<sup>1,2,3</sup>Энергетикалық факультет,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университет,  
 Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,  
 Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*B. E. Khamzina<sup>1</sup>, S. A. Mendybaev<sup>2</sup>, K. K. Naurzbaev<sup>3</sup>, A. B. Sagyndyk<sup>4</sup>*  
**Modeling a wireless network in Cup Carbon**

<sup>1,2,3</sup>Faculty of Energy,

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,  
 Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Faculty of Energy Engineering,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,  
 Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Модельдеу қазіргі заманғы таным теориясы мен жобалау-инженерлік тәжірибенің негізгі санаттарының бірі болып табылады. Сондай-ақ, Cup Carbon сымсыз желілерді модельдеу үшін платформа ретінде таңдау негіздемесі ұсынылған.*

*Modeling is one of the key categories of the modern theory of knowledge and design engineering practice. The work provides a comparative review and analysis of existing emulators, as well as the rationale for choosing Cup Carbon, as a platform for modeling wireless networks for the Internet of things.*

**Ш. Ш. Хамзина<sup>1</sup>, О. А. Хлущевская<sup>2</sup>, О. Сулейменов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.п.н., профессор ИнЕУ, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>к.б.н., доцент ИнЕУ, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан;

<sup>3</sup>магистрант, Инженерно-технический факультет, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>khamzina\_64@mail.ru; <sup>2</sup>oksana.xlushhevskaya@mail.ru;

<sup>3</sup>olgas\_kaz@mail.ru

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ В ГОРОДЕ ПАВЛОДАР**

*В статье рассматривается проблема затопления отдельных участков города Павлодар поверхностными сточными водами. Проведен анализ состояния существующих дренажных сетей отвода сточных вод. Приведен наиболее оптимальный вариант установки систем ливневой канализации и очистки стоков от загрязнителей.*

*Ключевые слова: поверхностные сточные воды, ливневая канализация, полураздельная система канализаций.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Поверхностный сток является источником существенного загрязнения компонентов окружающей среды различными поллютантами. Данные сточные воды образуются в результате выпадения атмосферных осадков, полива и мойки территории. Городские стоки несут большую опасность для окружающей среды, поскольку формируются в пределах автотранспортных дорог, строительных площадок и промышленных зон. Разнообразные вредные примеси, сконцентрированные на этих участках, посредством сточных вод попадают в близлежащие водные источники, а также в почвенную среду. В соответствии с природоохранным законодательством Республики Казахстан подобное загрязнение стихийного характера недопустимо, и должно быть взято под контроль. В Экологическом кодексе РК прописано, что концентрации загрязняющих веществ в сточных водах не должны превышать установленных нормативов [1]. Решением проблемы неконтролируемого сброса загрязненных поверхностных стоков в окружающую среду является строительство системы ливневой канализации. Однако, как показывает практика во многих городах дренажные системы отвода стоков либо

отсутствуют, либо не функционируют должным образом. К одним из таких городов можно отнести североказахстанский город Павлодар.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Павлодар расположен на северо-востоке Казахстана у реки Иртыш. Климат резко континентальный. Для города характерна долгая суровая зима с устойчивым снежным покровом, а также жаркое лето с относительно небольшими осадками. Среднегодовое количество осадков колеблется от 250 до 300 мм, или  $250\ 000\text{--}300\ 000\ \text{м}^3/\text{км}^2$  при общей площади города в  $352,3\ \text{км}^2$  [2].

На настоящий год в Павлодаре имеются:

- сети закрытой ливневой канализации протяженностью 15,75 км;
- открытые арычные сети протяженностью 1,28 км;
- четыре насосные станции ливневых и дренажных вод [3].

Существующая система ливневой канализации является устаревшей и находится в изношенном состоянии. Требуется капитальный ремонт данных сетей, поскольку они работают неэффективно, вследствие чего приходится часто прибегать к вызову спецмашин для откачки поверхностных стоков. Кроме того, сети ливневой канализации размещены только на нескольких центральных улицах, а на остальных подобные дренажные системы для водоотвода полностью отсутствуют. При обильных осадках улицы, дворы и дороги затапливает. Особенно затоплению поверхностными сочными водами подвержены районы, которые находятся в низине, а таких участков в городе более восьмидесяти. На рисунке 1 приведены участки, где наиболее остро стоит проблема затопления поверхностными стоками [4].

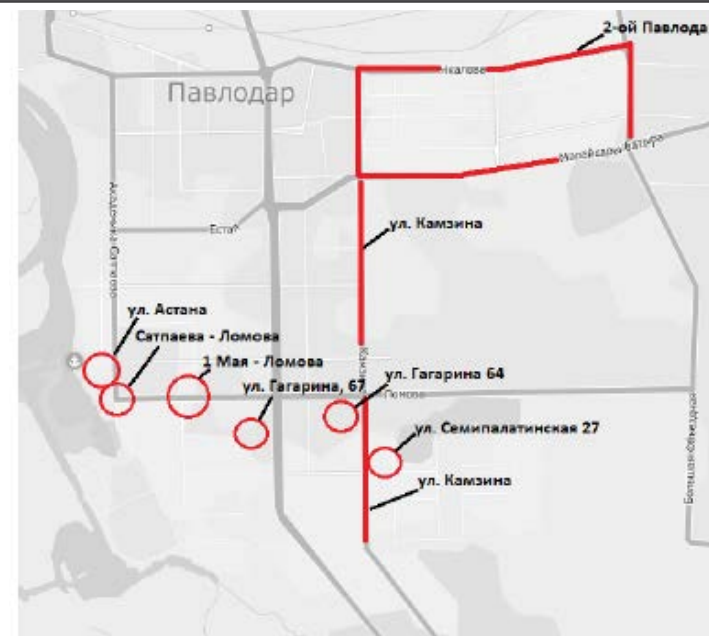


Рисунок 1 – Районы города Павлодар подверженные частым затоплениям

По данным КГП «Горкомхоз» частые затопления после атмосферных осадков происходят на улицах Камзина, Астана, Гагарина, Ломова, Семипалатинская, 1 Мая, Академика Сатпаева и др. После сильных осадков коммунальные бригады вынуждены откачивать воду на улицах с помощью ассенизаторских машин. Например, на перекрестках улиц Академика Сатпаева и Ломова есть дождеприемники, но они не справляются, поэтому КГП «Горкомхоз» привлекают сразу две спецмашины, чтобы улица не ушла под воду. Если на улицах с водой еще можно справиться, то борьба с потоком в низинах крайне затруднительно. Стоит отметить район «Второй Павлодар», который давно подтопляется атмосферными водами. В результате частным домам, занимающим большую часть района, наносится огромный материальный ущерб.

Скопление сточных вод на городской территории приводит к разрушению дорожного покрытия, вымыванию грунта и загрязнению реки Иртыш. Стоки с некоторых улиц без каких-либо очистных мероприятий попадают в реку, тем самым внося в нее взвешенные вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы и другие поллютанты. Приближенные значения удельных выносов различных примесей с дождевым стоком с городской территории отражены в таблице 1, которая предложена специалистами Научно-исследовательского



и конструкторско-технологического института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии [5].

Таблица 1 – Удельные выносы загрязняющих компонентов с дождевым стоком

Загрязненные компоненты	Удельный вынос, кг/(га*год)
Взвешенные вещества	2500
Органические вещества по показателям:	
ХПК	1000
БПК <sub>20</sub>	140
Нефтепродукты	40
Биогенные элементы:	
соединения азота	6
соединения фосфора	1,5
Минеральные соли	400

Таблица приводит лишь примерные значения количества загрязняющих компонентов. В реальности данные числа могут варьировать в широких границах. Уровень загрязненности поверхностных сточных вод зависит от множества факторов, таких как:

- интенсивность движения транспортных средств;
- концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы;
- предприятия, оказывающие вредное воздействие на окружающую среду;
- строительные площадки и др.

Однако независимо от уровня загрязненности стоков, неочищенные стоки несут угрозу для окружающей среды, в частности для водной среды. Перечисленные обстоятельства указывают на актуальность строительства ливневой канализации в Павлодаре.

Разработка проекта системы ливневой канализации требуется осуществлять с учетом ряда факторов:

- количество и интенсивность атмосферных осадков;
- объем образующихся поверхностных стоков;
- продолжительность прохождения стоков по поверхности и трубам до расчетного сечения;
- площадь стока;
- рельеф местности и др.

Оптимальным вариантом установки ливневой канализация является такой вариант, при котором обеспечивается соблюдение санитарно-гигиенических требований и активно используется естественный уклон местности. Для

городов численностью до 350 тыс. (в Павлодаре 335 тыс.) экономически целесообразной и надежной в санитарно-гигиеническом отношении считается полураздельная система канализации. Система подобного рода подразумевает очистку поверхностного стока совместно с городскими и промышленными сточными водами на очистных сооружениях [5].

Полураздельная система канализации включает в себя как бытовые, так и ливневые сети отвода (рисунок 2). В местах их пересечения установлены водосборные камеры, которые производят деление стоков на наиболее и менее загрязненные воды. Первые загрязненные стоки направляются в бытовую сеть, а вторые малоконцентрированные по загрязнителям сточные воды сбрасываются в водоем [6].

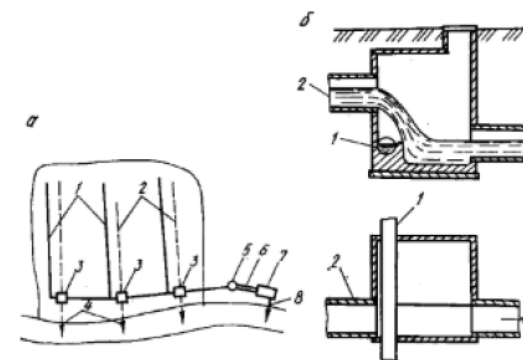


Рисунок 2 – Полураздельная система канализации.  
 а – схема системы; б – водосборная камера; 1 – бытовая сеть;  
 2 – дождевая сеть; 3 – водосборная камера; 4 – ливнеотводы;  
 5 – насосная станция; 6 – напорные водоводы;  
 7 – очистные сооружения; 8 – выпуск

Система водоотведения состоит из следующих основных элементов: наружной уличной сети, коллекторов, насосных станций, напорных водоводов, очистных сооружений и выпусков очищенных сточных вод в водоемы.

Канализационные сети следует прокладывать соответственно уклона местности, чтобы обеспечить самотечный отвод стоков.

Однако в зависимости от особенностей местности и характера загрязненности стоков возможно и установка раздельной ливневой канализации на отдельных территориях.

При проектировании систем ливневой канализации необходимо провести комплексное исследование территории города в целях выявления

часто затапливаемых участков. Исследования следует реализовывать с помощью космических технологий, которые из космоса определяют все «нижние точки» города Павлодар, наиболее уязвимые в период ливней и таяния снежного покрова.

Немало важным моментом в процессе разработки дренажных сетей отвода атмосферных вод является выбор очистных технологий. Наилучшим способом очистки поверхностных стоков от загрязнителей является комбинированное применение различных методов удаления и обезвреживания поллютантов. В качестве примера стоит привести компактное очистное сооружение, состоящее из разнообразных блоков, которые обеспечивают удаление взвешенных веществ и нефтепродуктов из сточных вод. Установка предусматривает прохождение загрязненного стока по определенному ряду очистных блоков. Первый блок – песколовки, выделяющие взвешенные вещества. Второй блок – установки по отстаиванию, снабженные тонкослойными модулями, удаляющими нефтепродукты и взвешенные вещества, крупность которых не позволила песколовкам их уловить. Третий – коалесцирующий блок, в котором производится сбор свободных нефтепродуктов. Четвертый – сорбционный блок, где происходит фильтрация через наполнитель высокой сорбционной емкости [7].

Степень очистки сточных вод подобной установки от взвешенных веществ и нефтепродуктов составляет 98–99 % [7]. Очищенные сточные воды можно использовать для полива зеленых насаждений, тушения пожаров и в прочей деятельности, которая не предъявляет повышенных требований к качеству воды.

## ВЫВОДЫ

В работе отражены лишь основные аспекты проблемы отвода поверхностных сточных вод с городских улиц. Проблема, связанная с износом существующих дренажных сетей и отсутствием ливневой канализации в затопляемых районах требует дальнейшего глубокого и всестороннего исследования. Однако, несмотря на данное обстоятельство даже анализ проведенный в рамках этой статьи дает все основания утверждать, что разработка и реализация проекта системы ливневой канализации в Павлодаре окажет положительный эффект на экологическое состояние окружающей среды и социально-экономическое развитие города.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Экологический кодекс РК от 9 января 2007 года № 212.

2 Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2018 год, РГП «Казгидромет» Астана 2019.

3 Постановление Правительства РК «О генеральном плане города Павлодар Павлодарской области» от 12 июня 2018 года № 337.

4 Интервью с главным инженером КГП «Горкомхоз», <https://pavon.kz>.

5 Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты от 28 декабря 2005 года, ГНЦ РФ ФГУП НИИ ВОДГЕО.

6 Карасев, Б. В. Основы гидравлики, сельскохозяйственного водоснабжения и канализации, Минск : Вышэйш. шк., 1983. – 288 с.

7 Эпоян, С. М., Лукашенко, С. В., Гетманец, Н. И. Технология очистки нефтесодержащих поверхностно-ливневых сточных вод. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin – Rzeszów. – 2014, Vol.16, No. 6, 61–68.

Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Ш. Ш. Хамзина<sup>1</sup>, О. А. Хлущевская<sup>2</sup>, О. Сулейменов<sup>3</sup>*

**Павлодар қаласында нөсерлі кәріз жүйесін жетілдіру**

<sup>1,2,3</sup>Инновациялық Еуразия университеті,

Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы,

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*S. S. Khamzina<sup>1</sup>, O. A. Khlukshevskaya<sup>2</sup>, O. Suleimenov<sup>3</sup>*

**Improvement of the discharge system of the Pavlodar city**

<sup>1,2,3</sup>Innovative University of Eurasia,

Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада Павлодар қаласының жекелеген учаскелерін жерасты ағынды суларымен су басу мәселесі қарастырылған. Ағынды суларды ағызу үшін қолданыстағы дренаждық желілердің күйін талдау. Нөсерлі ағынды суларды және ластаушы заттардан ағынды суларды тазартудың ең оңтайлы нұсқасы келтірілген.*

*The article considers the problem of flooding certain sections of the Pavlodar city with surface wastewater. Gives the analysis of the status of existing drainage networks for wastewater disposal. There is given the most optimal installation option for storm sewage systems and sewage treatment from pollutants.*

**V. F. Khatsevskiy<sup>1</sup>, K. V. Khatsevskiy<sup>2</sup>, T. V. Gonenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russian Federation;

<sup>3</sup>Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russian Federation

e-mail: <sup>1</sup>xvf5@mail.ru; <sup>2</sup>xkv-post@rambler.ru; <sup>3</sup>gonenko\_t@mail.ru

**ENERGY SAVING AT OPERATION OF THE ORE-REDUCING ELECTRIC FURNACES**

*The solution of a problem of the operational descriptions optimization of the super power ore reducing electric furnaces is considered and recommended for real practice are given in this paper.*

*Keywords: ore-reducing furnaces, power consumption modes, quasi-stationary modes, current and voltage curves.*

**INTRODUCTION**

In connection with the daily irregular operation of industrial enterprises, the growth of electricity consumption in households and agricultural production, a tense energy balance arises in many power supply systems. As the analysis of domestic and world practice of exploitation of consumers of electric energy shows, the tense energy balance is most pronounced in the autumn-winter period, when the demand for electricity increases. As electricity consumption increases, there is an increase in the unevenness of the load schedules of power systems, and if measures for the rational use of electricity are not implemented, there must be a significant reserve of generating capacity and certain requirements for the maneuverability of power plants.

One effective way of solving the problem of rational use of energy capacity is to compress the load schedules of power systems. This can be achieved by shifting the maximum consumption of electricity by powerful energy-intensive plants of industrial enterprises, which account for 60–70 % of the total load of power systems, to the off-peak zone of the day. The economic efficiency of using the load of consumers regulating their power consumption to balance the load schedules of power systems is determined by the significant reduction of fuel consumption in power plants during power generation [1]. In addition, there is no need to build peak power plants, specific capital investments for which are 2–3 times higher than for the specified consumers.

As a result, power supply systems are forced to produce limited supply of electricity and limit energy consumption at the expense of the most energy-intensive consumers during maximum load hours. Such consumers include steel plants with super-heavy ore-reducing electric furnaces installed in groups of up to ten furnaces with unit capacity of 20 to 90 MVA.

Existing limits of power consumption of enterprises with ore-reducing electric furnaces lead to a reduction of production output, power overruns, reduction of reliability of operation of high-performance electrical equipment. As a result, this leads to significant economic damage. The practice of turning off individual ore-reducing electric furnaces in case of emerging power consumption restrictions has shown that due to the large thermal inertia of electric furnaces and a significant level of accumulated energy, in principle, it is possible to turn off them for a controlled period of time. However, the subsequent accident-free introduction of electric furnaces into operating modes requires significant energy costs and labour-intensive work with loss of production time. The scale of the tasks under consideration can be estimated by the fact that the installed capacity of public corporation «Sibelektroterm» manufactured and currently operated ore-reducing electric furnaces in Russia and the countries of the Commonwealth of Independent States is more than 7,500 MVA. This level of power consumption of the same type of equipment determines the importance of the problem of optimization of ore-reducing electric furnaces operation modes not only in nominal modes, but also in non-stationary modes with reduction of input power.

**MAIN PART**

The use of methods of matching load schedules, which include reduction of power consumption by ore-reducing electric furnaces to a lower value than the nominal power, is complicated by the occurrence of emergency situations and the lack of analysis methods of such operating modes of ore-reducing electric furnaces. The complexity of the processes occurring in these furnaces, the interconnection of many dependent factors to date have not allowed to create a single generally recognized electrotechnological methodology for calculation of parameters of ore-reducing electric furnaces. When considering the problem, an empirical approach based on quantitatively interconnected criteria of geometric, electrical and technological similarity of electric furnaces prevails. Therefore, existing methods for recalculating the parameters of ore-reducing electric furnaces do not allow even an approximately estimation of change of parameters of units operation in non-standard modes when transferring specific electric furnaces from the nominal mode to a quasi-stationary mode with reduced power. This transfer is accompanied by forced operation of ore-reducing electric furnaces for a long time in non-stationary modes with significant deviations from normal «run» of melting.

Non-stationary operating modes were not actually considered in the theory and practice of operating ore-reducing electric furnaces [2].

Production in modern ore-reducing electric furnaces is based on complex electrotechnological processes. They are determined by nonlinear interconnections of electrical, thermodynamic, chemical, gas and hydrodynamic parameters, self-aligning in the working space of electric furnaces. The complexity of the interconnected processes determined the development of the theory of ore-reducing electric furnaces based on similarity criteria. They allow to recalculate parameters of optimal quasi-stationary modes with nominal power of «model» electric furnace for electric furnaces of higher power with determination of nominal electric parameters of quasi-stationary mode. It is especially important that new geometrical dimensions of the working space and electrodes are still defined to implement these modes. In the theory of ore-reducing electric furnaces, the concept of «optimal modes» is inextricably related to the geometric parameters of a particular electric furnace working space. An electric furnace operating in optimal nominal modes with specific design solutions (electrode diameter, electrode decay diameter, diameter and height of electric furnace, etc.), at reduction of the input power, provides operating modes that differ from those calculated by the theory of similarity of ore-reducing electric furnaces. This is due to the fact that the geometric and technological similarity is guaranteed to be violated.

In order to develop methods of long-term operation of ore-reducing electric furnaces in modes significantly different from nominal ones with preservation of normal process course, studies of non-stationary modes were carried out. They were carried out on industrial electric furnaces with change of power distribution between different areas of the working space of ore-reducing electric furnaces. These changes are determined by electrical and thermal processes and therefore the volumetric active and reactive resistances of these areas. During analysis of non-stationary operating modes of ore-reducing electric furnaces it is found that at reduction of input power changes of electrical, thermal and technological processes occur. These include consecutive periods over time with significantly different time constants of processes defining these periods of regime. The following patterns of development of these processes are established [3]:

1 In order to ensure a normal flow of the technological process at any capacity, it is necessary to have self-sustaining gas-plasma sub-electrode regions (closed heat-insulated arc). At reduction of introduced power into under-electrode space volume of gas-plasma cavity is reduced with preservation of geometric similarity, identity of gas medium composition, constant temperature with subsequent self-adjusting quasi-alignment of volumetric densities of energy in gas-plasma cavity due to change of its volume. In the nominal mode, when ratio  $U_{nom} = CP^n$  is provided at  $n = 0.33$  (for FeSi smelting), the arc voltage is directly proportional

to the current in narrow range of parameters, when electrical, geometric and temperature-process similarity is provided. For this interval of parameters, the hypothesis of M. Ya. Smelyansky and A. N. Popov on the constant resistance of the arc  $R_{arc}$  for most recovery technologies is true [1]. At decrease or increase of input power in period of non-established (transient) modes the value of  $n$  changes from 0.25 to 0.5, the value of  $C$  from 0.5 to 0.25. The shape and geometric dimensions of the conducting zones in transient modes change so that the values of  $n$  and  $C$  are restored to values of  $n = 0.33$  and  $C = 0.47 \dots 0.49$ . The difference between  $n$  and  $C$  from these values indicates instability and the difference from the optimality of the processes.

2 The arc resistance is shunted by the walls of the reaction crucible ( $R_{pot}$ ) and the charge between the electrodes and the wall of the conductive lining ( $R_{mix}$  and  $R_{cas}$ ). At power decrease resistance of reaction crucible ( $R_{pot}$ ) in non-stationary modes becomes main shunting channel. The analysis of this field was based on the known calculated-theoretical results of studies [1]: the temperature in the working part of the crucible for any ore recovery process is optimal, constant and self-sustained; any decrease (or increase) in the energy entering this region is compensated by a change in the rates of endothermic reduction reactions. In case of changes in energy introduced into this region due to conduction currents (Joule heating) and heat exchange with the gas-plasma cavity, the quasi-stationary temperature mode is self-maintained. At the same time the geometrical dimensions of the reaction crucible are changed due to the diameter  $d$ , the radial extension of the layer  $a$  and the distance between the electrode end face and the melt (arc length  $l_{arc}$ ). For a quasi-stationary (nominal) mode, the resistance of this region depends on five parameters:  $R_{pot} = f[\rho(T), n, W, I, S]$ , where  $\rho(T)$  – local specific electrical resistivity of the layer,  $n$  – slag ratio,  $W$  – specific power consumption per ton of metal product,  $I$  – operating current,  $S$  – area of the current-carrying layer of the crucible walls,  $T$  – temperature in a layer. In dynamic modes, in addition to the indicated parameters, the resistance of the reaction crucible  $R_{pot}$  is determined by the energy density supplied from the gas-plasma cavity to the inner surface of the crucible  $q_s$ , and the area of the current-carrying layer of the crucible walls depends on the change in  $d, a, l_{arc}$ . The change in time  $R_{pot} = f(\tau)$  is determined by the change in the temperature field; process change time constant  $\tau > 600$  s. This area is decisive for the capacity of ore-reducing electric furnaces, it self-supports optimal technological temperatures, and a normal process progress is possible at  $q_s \gg 0$ .

3 Using the methodological approach of N. A. Markov and V. P. Vorobiev, the processing of experimental results showed the following. In quasi-steady state operation modes of the investigated electric furnaces, the shapes of the common current and voltage curves in the electric circuit containing the arc ( $R_{arc}$ ) and

the active linear resistances  $R_{pot}$ ,  $R_{mix}$ ,  $R_{cas}$ , are sums of the characteristic shapes of the arc current and voltage [3]. In this case, the formalized dynamic current-voltage characteristic (CVC) consists of two linear sections (Figure 1). For the nominal mode (CVC – points [o], [c], [e]) site A characterizes the flow of current through the equivalent resistance  $R_{\Sigma}$ , which is determined by the expression  $\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_{pot}} + \frac{K_1}{R_{mix}} + \frac{K_2}{R_{cas}}$ . Site B characterizes the flow of current through the arc ( $R_{arc}$ ) and resistance  $R_{\Sigma}$ . Tilt angles of these sites ( $\alpha$  and  $\beta$ ) depend on the conductivity  $1/R_{\Sigma}$  ( $\alpha$ ) and the sums of conductivities  $1/R_{arc}$  and  $1/R_{\Sigma}$  ( $\beta$ ), and a current form depends on the relation of resistance  $R_{arc}/R_{\Sigma}$ .

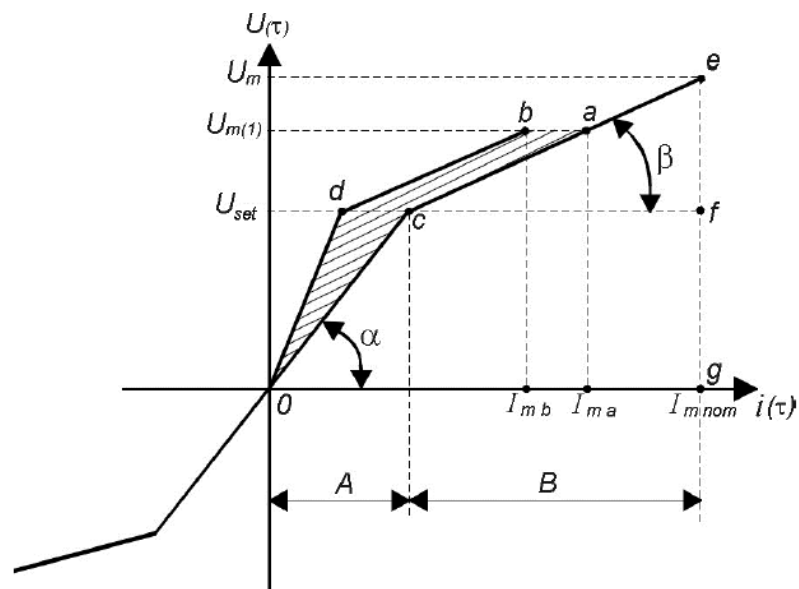


Figure 1 – Dynamic current-voltage characteristic of ore-reducing electric furnace phase

During initial period of input power decrease by voltage decrease from  $U_m$  to  $U_{m(t)}$  the temperature field in reaction space does not change due to inertia. At that the ignition voltage of heat-insulated arc ( $U_{set}$ ) is close to quasi-constant value. At the time of switching, the dynamic CVC retains its parameters and the current  $I_{ma}$  corresponding to the point [a] is set. With an invariable arc length ( $l_{arc}$ ) during time of not set modes due to change of the temperature field the equivalent resistance  $R_{\Sigma}$  increases (the shaded area on Figure1). The coordinate of point [c] moves to point [d], and the amplitude value of the current decreases to  $I_{mb}$ . At reduction of

the arc length (maintenance of current  $I_{ma}$  by automatic regulator) dynamic CVC has the form [o], [d], [a]. The transition time from one quasi-stationary mode ( $P = P_{nom}$ ) to another ( $P = 0,75 P_{nom}$ ) for electric furnace the RKZ-21 is  $\tau \approx 600$  s, for electric furnace the RPZ-63 is  $\tau \approx 1000$  s. The duration of the non-stable mode was determined during experiments to change the resulting products (productivity) and to change the composition and temperature of the exhaust gases.

4. The required quality of the obtained products at maximum productivity is provided in ore-reducing electric furnace with constant criteria of electrical and technological similarity of processes.

$$E_L = \frac{U_{nom} \cdot d}{I \cdot S_{av}} = F \left[ T_L^{m_1} \left( \frac{\gamma_k}{\gamma} \right)^{m_2} \left( \frac{d}{r_0} \right)^{m_3} \right] = const, \quad (1)$$

$$U_{nom} = C \cdot P^n; \quad T_L = \frac{\beta \cdot q_{coke} \cdot C_{MeO} \cdot r_0}{P}.$$

Analysis of the formula (1) shows that for operating ore-reducing electric furnace at change of power  $P$  in transition mode and in subsequent quasi-steady mode, it is necessary to change ratios of charge components:  $C_{MeO}$  – composition of the charge in the reaction zone (MeO content in the charge),  $q_{coke}$  – electric power consumption per unit weight of coke involved in endothermic reaction taking into account heat content of components leaving the zone (furnace capacity). At the same time it is necessary to ensure constancy of the density of coke packing in the reaction zone ( $\gamma_k/\gamma$ ), reduction reaction rate in the reaction crucible [ $\beta = f(T_{reac})$ ], grain-size composition of the charge ( $r_0$ ).

### CONCLUSION

Carried out generalized studies of actual and possible modes of operation of ore-reducing electric furnace during time periods, including limitations of consumed capacity, showed the following. Reduction of power consumption by enterprises with ore-reducing electric furnaces with limitations of power consumption can be performed in various ways. There are disconnections of one or several furnaces for the whole period of restrictions, alternate disconnection of furnaces for minor periods of time, or partial reduction of furnace capacity or group of furnaces for the whole period of restrictions. Each of these methods is accompanied by different development of non-stationary modes ensuring accident-free level of equipment operation [4].

In order to identify the actual modes of limiting power consumption, ore-reducing electric furnaces are considered as both collective and individual energy consumers. Calculated and statistical analysis of production and technological

documents for five years of operation of electric furnaces of the type RKZ-21 and RPZ-63 at the three largest ferroalloy plants was carried out. As a result, it was established that:

1 Power consumption modes of enterprises with ore-reducing electric furnaces are characterized by uniformity with a fill factor of load schedules of 0.84... 0.96. This is achieved due to time shift of technological processes of different electric furnaces and maintenance of time difference coefficient of energy consumption maxima by various furnaces within 0.91... 0,96.

2 Individual daily technological schedules of energy consumption of one furnace are characterized by changes from + 5 % to – 15 % relative to nominal values; the fill factors of their graphs are equal to 0.72 ... 0.98. The main reasons for deviations of ore-reducing electric furnaces modes from the nominal ones are: change of working space parameters in time from the charge outlet to the melt outlet, change of quality of components of the charge mixture, emergency short-term shutdown of electric furnaces.

3 Average daily loads and maximum morning and evening loads in electric load schedules of enterprises with ore-reducing electric furnaces have a close correlation relationship ( $k_r \geq 0.5$ ). At the same time, the maximum loads exceed the average loads by no more than 10 %.

Recommendations for creating a multi-criteria mathematical model are developed. It consists of two multifunctionally interconnected structures. This is a parameter space with an area within which all requirements for quality, performance and specific power consumption are met, and a criteria space with an area limited by the requirements for fault-free operation of the equipment.

## REFERENCES

1 **Khatsevskiy, V. F.** Improving the efficiency of energy use in the operation of ore-reducing electric furnaces / V. F. Khatsevskiy, T. V. Gonenko // Efficient and high-quality supply and use of electricity : Collection of reports of the 2nd international scientific and practical conference. – Yekaterinburg : CJSC «Ural Exhibitions», 2012. – P. 78–81.

2 **Khatsevskiy, K. V.** Energy saving and optimization of electrical technologies of metallurgical production // Environmental safety management system : Proceedings of the X correspondence international scientific and practical conference – Yekaterinburg: UrFU, 2016. – P. 226–229.

3 **Khatsevskiy, V. F.** Modern energy-saving technologies and electric heating installations [monography] / V. F. Khatsevskiy, T. V. Gonenko, K. V. Khatsevskiy – Pavlodar : Kereku, 2014. – 166 p.

4 **Khatsevskiy, K. V.** Improving energy efficiency of electrotechnological processes in metallurgical production // Environmental safety management system : Proceedings of the XI correspondence international scientific and practical conference – Yekaterinburg : UrFU, 2017. – P. 186–189.

Material received on 04.06.20.

*В. Ф. Хацевский<sup>1</sup>, К. В. Хацевский<sup>2</sup>, Т. В. Гоненко<sup>3</sup>*

**Кенді қалпына келтіретін электр пештерін пайдалану кезінде энергияны үнемдеу**

<sup>1</sup>С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;  
<sup>2,3</sup>Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омск қ., 644050, Росей Федерациясы.  
Материал 04.06.20 баспаға түсті.

*В. Ф. Хацевский<sup>1</sup>, К. В. Хацевский<sup>2</sup>, Т. В. Гоненко<sup>3</sup>*

**Энергосбережение при эксплуатации рудовосстановительных электродов**

<sup>1</sup>Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;  
<sup>2,3</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050, Российская Федерация.  
Материал поступил в редакцию 04.06.20.

*Бұл жұмыста ауыр кенді қалпына келтіретін электр пештерінің пайдалану сипаттамаларын оңтайландыру мәселесін шешу қарастырылған және нақты тәжірибе үшін ұсыныстар берілген.*

*В настоящей работе рассмотрено решение проблемы оптимизации эксплуатационных характеристик сверхмощных рудовосстановительных электродов и даны рекомендации для реальной практики.*

**О. Я. Швец<sup>1</sup>, М. Е. Баталова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Школа инженерии, Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070002, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>магистрант, Школа инженерии, Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, 070002, Республика Казахстан

e-mail: <sup>1</sup>olga.shvets75@gmail.com; <sup>2</sup>esimkhan\_kizi.m@mail.ru

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДБОРА ЦВЕТА ЗУБОВ В ЭСТЕТИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ**

*В статье рассматриваются вопросы эффективного выбора цвета зубов и зубных протезов с помощью современных технологий и средств автоматизации и контроля. За основу проведения научных исследований в статье взята методология системного анализа, использованы приемы моделирования с помощью специализированных пакетов обработки данных и изображений, применен аппарат нечеткой логики. Также отмечается, что на сегодняшний день нет однозначных и стандартных алгоритмов определения оптимального цвета зубов при отбеливании или при создании реставраций. В статье приведены примеры моделирования, а также пошаговая демонстрация выбора оптимального цвета с применением нечеткого алгоритма выбора.*

*Ключевые слова: автоматизация в стоматологии, моделирование подбора цвета, нечеткий вывод.*

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в стоматологии широко внедряются современные технологии, новые приборы. Выбранное направление данного исследования является востребованным в данной отрасли и актуальным. Такая система существенно облегчает и упорядочивает работу врача стоматолога, так как часто возникают затруднения при визуальном выборе цвета зубов, поскольку данная методика субъективна. Трудности связаны с тем, что процесс многогранен, он должен учитывать множество условий и факторов: используемый алгоритм выбора цвета, условия рабочего места врача-стоматолога, такие как освещение и цветовое оформление помещения. Одним из действенных способов уменьшить количество ошибок в эстетической

стоматологии является применение современных компьютерных и цифровых технологий.

На сегодняшний день нет стандартного однозначного алгоритма определения цвета зубов и зубных протезов. Каждый автор предлагает свой метод определения оптимального цвета. С. И. Абакаров, Д. С. Абакарова [1] предлагают использовать информационно-топографическую карту, на которой отмечаются в горизонтальной и вертикальной плоскостях характерные индивидуальные особенности зубной поверхности. Подбирать цвет зубных реставраций при дневном свете, затем искусственном свете и еще раз при тусклом свете рекомендует Бернар Туати. А. В. Салова, В. М. Рехачев предлагают алгоритм определения цвета при стандартных нормах освещения и в дополнение определять группу прозрачности [2]. Использовать спектрофотометр при определении цвета зубов предлагает Вольфганг Рау [3]. На необходимость учитывать топографию, возраст и микрорельеф зубов при определении цвета указывает С. Радлинский [4].

Таким образом, в настоящее время по способу определения цвета зубов и реставраций высказываются различные мнения и дается множество рекомендаций.

Методы исследования базируются на принципах автоматизации и управления, методологии системного анализа, теории математического моделирования, цифровой обработки изображений, распознавания образов, дискретных преобразований, моделирования с помощью специализированных пакетов обработки данных и изображений, применении аппарата нечетких множеств, нечеткой логики.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В настоящее время при наличии новых современных технологий и эстетических норм и эталонов общества сформировалось такое направление, как эстетическая стоматология. Сегодня эстетическая стоматология является одной из самых популярных и востребованных областей медицины среди пациентов. Чем выше уровень и качество жизни людей, тем стремительнее развивается и эстетическая стоматология, которая очень скоро станет одним из показателей благосостояния. В основе самых актуальных задач эстетической стоматологии лежит изготовление таких реставраций, которые учитывают все индивидуальные физиологические особенности пациента, уделяя такое же внимание функциональной эффективности, биосовместимости, а также эстетическому совершенству на основе последних достижений технологии и материаловедения. В современных условиях в эстетической медицине в целом и в стоматологии в частности повсеместно наблюдается тенденция к максимальной естественности, что является признаком здоровья и

хорошего вкуса. Во время общения или при улыбке зубы, особенно их правильное строение и гармоничность, участвуют в формировании облика лица. Красота улыбки формируется из совокупности таких составляющих, как форма зубов, размеры, их цвет, рельеф, пропорциональность и многого другого [2, 4]. По определению, идеальная улыбка – это гармония размера, позиции и цвета зубов, их пропорции и симметрии относительно друг друга и окружающих их элементов [2]. Социализация в обществе, чувство уверенности и раскрепощенности при общении, отсутствие комплексов, а также такие характеристики как симпатия и привлекательность и, как следствие, здоровье напрямую зависят от того, как человек улыбается, как органично вписывается состояние и форма зубов в формирование черт лица человека [2, 4]. Результатом различных нарушений, аномалий или патологий зубов, а также десен и губ может быть нарушение гармоничной улыбки.

При проведении исследования были получены консультации практикующих врачей стоматологов-протезистов (опрошено пять человек, стоматологические клиники ТОО «Журба» по ул. Белинского и «Полистом» по ул. Кабанбай батыра). Было отмечено всеми специалистами, что наиболее важный и сложный момент практической деятельности стоматолога – это определение тона зуба и последующий выбор композитного материала для реставрации.

Считается, что для определения цвета нужна ясная солнечная погода, оптимальное время с 10.00 до 12.00 утра. Однако в условиях различных географических поясов Казахстана и климатических условий эта задача трудновыполнима. В определении цвета должны принимать участие три человека: пациент, ассистент стоматолога и сам врач. В стоматологии считается, что женщины в возрасте до 35 лет обладают лучшей цветовой восприимчивостью. Зубы пациента также должны быть соответствующим образом подготовлены для правильного определения цвета, т.е. увлажнены, так как при высушивании эмаль светлеет. С учетом того факта, что при полимеризации материал может изменить цвет, проще говоря «посветлеть» на полтона, существует большая вероятность ошибки при определении цвета.

Для описания цвета используются цветовые модели. Модель представляет собой кортежи трех или четырех чисел – цветовых компонент. Это абстрактная модель описания представления цветов в виде цветовых координат. Множество цветов, входящих в цветовую модель и метод интерпретации данных составляет цветовое пространство.

В практической эстетической стоматологии выделяют несколько видов расцветок для определения цвета зубов, например, *biodent vita lumen vacuum*, *vitaran giassial*, *vita*, *chromas-cop*, и множество других, но многообразие цветов в живом зубе не может отобразить ни одна из них.

Сегодня существует много методик определения цвета зубов при изготовлении ортопедических конструкций, которые разделяются на две большие группы: визуальные и аппаратные. В клинической практике распространены методики визуального выбора цвета зубов по стандартным шкалам оттенков.

Применение аппаратных методов выбора цвета позволяет решить две проблемы:

- 1) коммуникации между клиникой и зуботехнической лабораторией;
- 2) объективизации выбора цвета и профилактики возможных конфликтов.

Согласно данным ведущей научно-исследовательской организации рынка Lt.GfK аппаратный метод еще не нашел своего широкого применения. Например, только 6 % всех стоматологов в Германии пользуются электронными приборами для определения цвета зубов. Основная причина использования визуальных методов – высокая стоимость аппаратов. Это также является одной из значимых причин и в Республике Казахстан. Еще одной причиной является отсутствие у новых приборов процедуры сертификации в нашей стране. Поэтому визуальный метод определения цвета зубов остается ведущим в работе стоматолога и зубного техника.

Перед тем анализировать изображение нужно его предварительно обработать, что заключается в визуальном улучшении качества.

Получение любого цифрового изображения состоит в превращении полученного оптического изображения в цифровую форму. Различия цифрового и оптического изображения состоит в том, что первое не является непрерывным.

Как известно, любое цифровое изображение представляет собой матрицу пикселей, значение каждого из которой получается в результате усреднения по четырем составляющим: координатам пространства ( $x$ ,  $y$ ), длине волны и времени.

Цифровые снимки отображаются либо с использованием 8-битной шкалы оттенков серого, либо 24-битной, которая основана на смешении различных оттенков красного, синего и зеленого.

Изображение представляет собой двумерную функцию  $f(x, y)$ , где  $x$  и  $y$  – это пространственные координаты, а амплитуда в любой точке с парой координат ( $x, y$ ) представляет собой интенсивность или яркость изображения в этой точке [5]. Если переменные  $x$ ,  $y$  и  $f$  принимают значения их конечного (дискретного) множества, то говорят о цифровом изображении.

На рисунке 1 рассмотрена схема процедуры преобразования и анализа цифрового изображения (зуба), полученного визуальным или аппаратным методами непосредственно в данный момент времени либо на цифровом носителе.



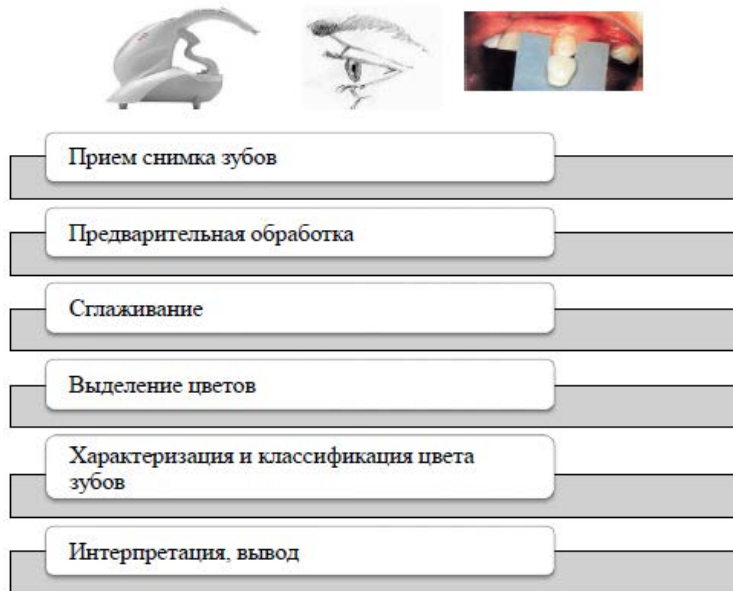


Рисунок 1 – Процедура преобразования и анализа цифрового изображения

Любое изображение вместе с информативными данными может содержать различные шумы и помехи [5]. Успешно справиться с этой проблемой могут фильтры для сглаживания изображения, которые реализованы в разработанной системе.

Пусть задана функция двух переменных  $f(n_1, n_2)$ , которая представляет собой искаженное изображение некоторого объекта на равномерной сетке  $\Omega_2 = \Omega * \Omega$ , где  $\Omega = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ .

Поддействуем на функцию  $f(n_1, n_2)$  цифровым фильтром (1), осуществляющим заданное преобразование (2), функций  $e^{i(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2)}$ ,  $\xi_1, \xi_2 \in [0, 2\pi]$ .

$$\Phi f(n_1, n_2) = g(n_1, n_2), \tag{1}$$

$$\Phi e^{i(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2)} = K(\xi_1, \xi_2) e^{i(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2)}, \tag{2}$$

В данном случае функция  $K(\xi_1, \xi_2)$  является частотной характеристикой фильтра.

Цифровой фильтр, представленный формулами (1), (2), осуществляет преобразование типа свертки (3).

$$\Phi f(n_1, n_2) = \sum_{l_1=-\infty}^{\infty} \sum_{l_2=-\infty}^{\infty} k(l_1, l_2) f(n_1 + l_1, n_2 + l_2), \tag{3}$$

При этом импульсная характеристика фильтра (ядро)  $k(l_1, l_2)$  имеет следующую связь с частотной характеристикой  $K(\xi_1, \xi_2)$ :

$$K(\xi_1, \xi_2) = \sum_{l_1=-\infty}^{\infty} \sum_{l_2=-\infty}^{\infty} k(l_1, l_2) e^{i(\xi_1 n_1 + \xi_2 n_2)}, \tag{4}$$

$$k(l_1, l_2) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} K(\xi_1, \xi_2) e^{-i(\xi_1 l_1 + \xi_2 l_2)} \partial \xi_1 \partial \xi_2. \tag{5}$$

Другими словами обработка снимка зубов состоит из двух частей: в нахождении импульсной характеристики цифрового фильтра, отвечающего заданной частотной характеристике, и последующей обработки изображения с вычисленным ядром.

Рассмотрим в качестве примера применения Вох-фильтра свертку исходного изображения с окном (6):

$$k(l_1, l_2) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Отметим, что результат сглаживания вох-фильтром с помощью усреднения отличается от расфокусированного изображения: наблюдаемая с расфокусированного объектива точка света визуально представляет круг, а сглаживание дает квадрат света, как показано на рисунке 2.

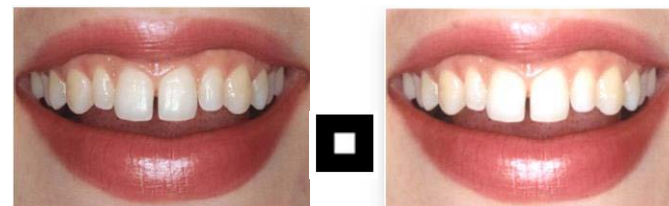


Рисунок 2 – Результат сглаживания снимка зубов Вох-фильтром 5x5

Резкость снимка зубов определяет детализацию границ объектов, что влияет на качественную сегментацию [5]. Резкость может быть нестабильной по разным причинам, например, из-за перемещения прибора съемки или

условий освещения в кабинете стоматолога. Также на резкость оказывает влияние сферическая аберрация. В некоторых областях снимка нерезкость является результатом эффекта размытия.

Некоторые снимки визуально кажутся нерезкими. Причина заключается в том, что при аналогово-цифровом преобразовании изображение раскладывается на конечное число составляющих, а это в свою очередь снижает детализацию. Чтобы избавиться от таких искажений требуется усилить перепады яркости на границах объектов, например, используя оператор Лапласа.

Использование оператора Лапласа для улучшения таких изображений производится по формуле:

$$g(x, y) = f(x, y) + c\nabla^2 f(x, y), \quad (7)$$

где  $f(x, y)$  – это исходное изображение,  $g(x, y)$  – улучшенное изображение. Если центральный коэффициент маски положителен, параметр  $c=1$ , в противном случае  $c=-1$ .

Оператор Лапласа повышает резкость изображения, но при этом переводит области с постоянными значениями яркости в 0, по причине того, что он является дифференциальным.

После того, как снимок зубов сделан и обработан, можно приступить к выбору оптимального цвета зубов для проведения отбеливания или создания реставраций (зубных протезов).

Стандартного однозначного алгоритма определения цвета зубов и зубных протезов нет [6]. В исследовании предлагается учесть при подборе цвета не только стандартные параметры, но и индивидуальные привычки пациента. Для реализации таких задач использован алгоритм нечеткого вывода.

На рисунке 3 показан пример заполнения карты пациента разработанного авторами статьи программного комплекса определения цвета зубов. Вместе со стандартным набором параметров, таких как возраст, пол, характеристики зубов, снимков зубов, существует возможность задать дополнительные параметры, позволяющие учесть индивидуальные особенности пациента, например, предпочтения в еде, напитках, указать вредные привычки (курение) и т.д.

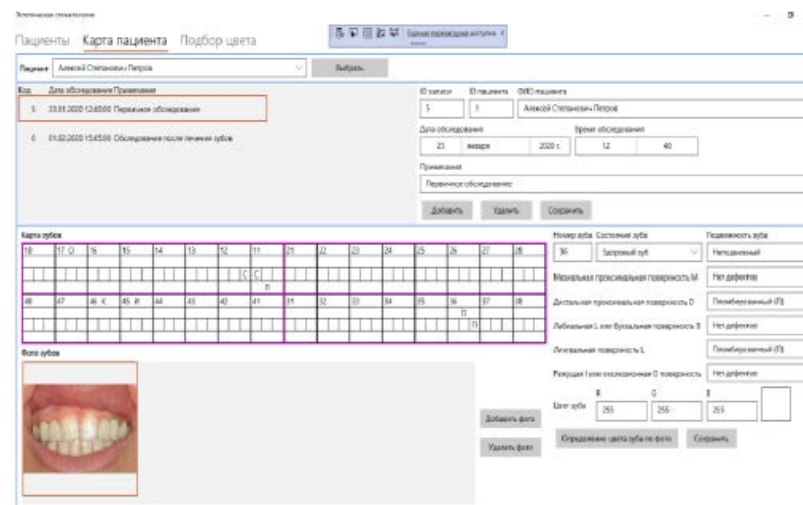


Рисунок 3 – Окно работы программы «Карта пациента»

Выбор цвета будущих реставраций или отбеливания естественных зубов реализован с помощью алгоритма нечеткого логического вывода MatLab, визуализация которого представлена на рисунке 4.

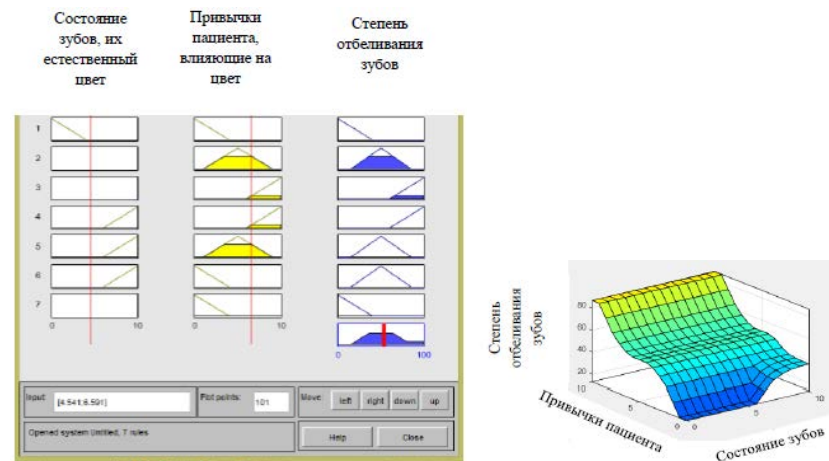


Рисунок 4 – Визуализация нечеткого логического вывода степени отбеливания зубов пациента

На рисунке 5 представлен фрагмент структуры синтезированной нейронной сети для определения степени отбеливания зубов пациента.

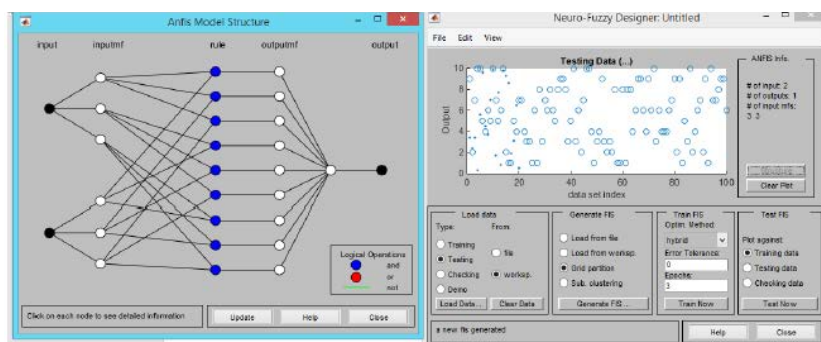


Рисунок 5 – Структура синтезированной сети

Результат кластеризации внутри одной группы цветов зуба приведен на рисунке 6.

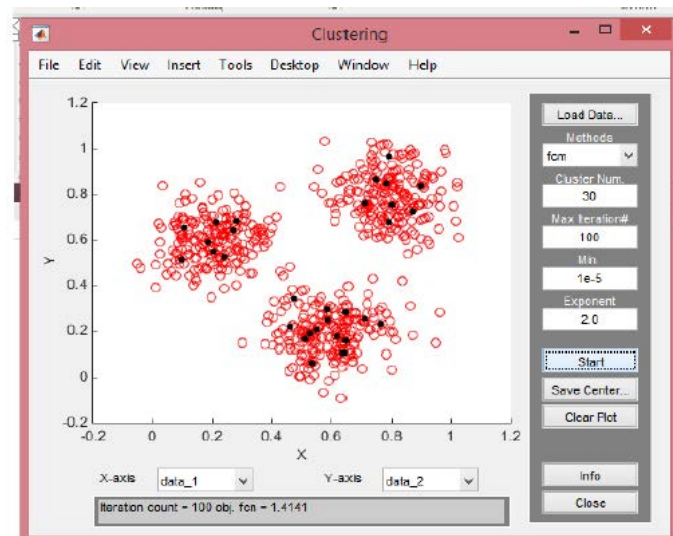


Рисунок 6 – Кластеризация с помощью алгоритма нечетких центров

Характеристика нормативно-справочной и входной информации представлена входными и выходными документами разработанного программного комплекса.

Входными документами системы являются: Справочник по клиентам; Справочник по возможным цветам зубов и зубных протезов; Справочник с фотографиями зубов пациента. Справочник по возможным цветам заполняется с учетом индивидуальных особенностей пациента.

Выходными документами являются результаты анализа изображений в виде процентного соотношения соответствующих определенному цвету зуба или зубного протеза кластеров.

### ВЫВОДЫ

Сегодня эстетическая стоматология является одной из самых популярных и востребованных областей медицины среди пациентов.

Наиболее важный и сложный момент практической деятельности стоматолога – это определение тона зуба и последующий выбор композитного материала для реставрации.

Стандартного однозначного алгоритма определения цвета зубов и зубных протезов нет. В исследовании предлагается учесть при подборе цвета не только стандартные параметры, но и индивидуальные особенности и привычки пациента, а также использовать вспомогательные программные комплексы отечественных ученых.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Абакаров, С. И.** Оптимальные условия и особенности определения и создания цвета в керамических и металлокерамических протезах / С. И. Абакаров, Д. С. Абакарова // Новое в стоматологии. – 2001. – № 4. – С. 23–29.
- 2 **Салова, А. В., Рехачев, В. М.** Особенности эстетической реставрации в стоматологии. Практическое руководство. – СПб. : «Человек». 2008. – 160 с.
- 3 Ортопедическая стоматология. [Электронный ресурс]. – <http://www.geotar.ru>.
- 4 **Радлинский, С. В.** Биомеханика зубов и реставраций // Украина : «ДентАрт», 2006. – № 2.
- 5 **Baklanova, O., Shvets, O.** Development of Methods and Algorithms of Reduction for Image Recognition to Assess the Quality of the Mineral Species in the Mining Industry. – Springer, Computer Vision and Graphics Lecture Notes in Computer Science. – Germany, Volume 8671. – 2014. – P. 75–83.
- 6 **Луцкая, И. К.** Выбор цвета в эстетической стоматологии / И. К. Луцкая, Н. В. Новак, Н. В. Терехова // Новое в стоматологии. – 2001. – № 7. – С. 59.

О. Я. Швец<sup>1</sup>, М. Е. Баталова<sup>2</sup>

**Эстетикалық стоматологиядағы тіс түсін таңдаудың автоматтандырылған жүйесі**

<sup>1,2</sup>Инженер мектебі,

Д. Серікбаев атындағы

Шығыс Қазақстан Мемлекеттік техникалық университеті,

Өскемен қ., 070002, Қазақстан Республикасы.

Материал 04.06.20 баспаға түсті.

O. Ya. Shvets<sup>1</sup>, M. E. Batalova<sup>2</sup>

**Automated dental color selection system for aesthetic dentistry**

<sup>1,2</sup>Engineering School,

D. Serikbayev East-Kazakhstan State Technical University,

Ust-Kamenogorsk, 070002, Republic of Kazakhstan.

Material received on 04.06.20.

*Мақалада заманауи технологияларды қолдана отырып және автоматтандыру мен бақылау құралдарының көмегімен тіс түстерін тиімді таңдау және тістің протездері мәселелері қарастырылады. Және де бұл жерде ғылыми зерттеулерді жүргізу негізінде жүйелік талдау әдіснамасы алынды, деректер мен бейнелерді өңдеуге әдейі арналған пакеттерінің көмегімен модельдеу тәсілдері қолданылды, нақ емес логика аппараты қолданылды. Сондай-ақ, бүгінгі таңда тісті агарту немесе қалпына келтіру кезінде тістің оңтайлы түсін анықтаудың бірегей және стандартты алгоритмдері жоқ. Мақалада үлгілеу мысалдары, сондай-ақ нақ емес логика алгоритмін қолданумен, оңтайлы түсті таңдаудың қадамдық демонстрациясы берілген.*

*The article discusses the effective choice of teeth color and dentures using modern technologies in automation and control. The methodology of system analysis is taken as the basis for conducting scientific research in the article, modeling techniques using specialized data and image processing packages and a fuzzy logic apparatus are used. It is also noted that today there are no unambiguous and standard algorithms for determining the optimal color of teeth during whitening or when creating restorations. The article gives modeling examples, as well as a step-by-step demonstration of choosing the optimal color using a fuzzy selection algorithm.*

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА  
(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,  
«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 или в соавторстве.**

**\*Количество соавторов не более 6.**

**\*Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:**

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в

1 экземпляре, 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: кель – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Статья должна содержать:

**1 ГРНТИ** (Государственный рубрикатор научной технической информации);

**2 Инициалы и фамилия** (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, см. образец*);

**3 Ученую степень, ученое звание;**

**4 Аффiliation** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

**5 E-mail;**

**6 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, заглавными прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, на трех языках: русский, казахский, английский, см. образец*);

**7 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 языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 100 слов, прописными буквами, нежирным шрифтом 12 кель, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

**8 Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на языке публикуемого материала*);

кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см.). Рекомендованное 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);

**9 Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

– слово ВВЕДЕНИЕ / КІРІСПЕ / INTRODUCTION (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре см. образец).

Необходимо отразить результаты предшествующих работ ученых, что им удалось, что требует дальнейшего изучения, какие есть альтернативы (если нет предшествующих работ – указать приоритеты или смежные исследования). Освещение библиографии позволит отгородиться от признаков заимствования и присвоения чужих трудов. Любое научное изыскание опирается на предыдущие (смежные) открытия ученых, поэтому обязательно ссылаться на источники, из которых берется информация. Также можно описать методы исследования, процедуры, оборудование, параметры измерения, и т.д. (не более 1 страницы).

– слова ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ / НЕГІЗГІ БӨЛІМ / MAIN PART (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Это отражение процесса исследования или последовательность рассуждений, в результате которых получены теоретические выводы. В научно-практической статье описываются стадии и этапы экспериментов или опытов, промежуточные результаты и обоснование общего вывода в виде математического, физического или статистического объяснения. При необходимости можно изложить данные об опытах с отрицательным результатом. Затраченные усилия исключают проведение аналогичных испытаний в дальнейшем и сокращают путь для следующих ученых. Следует описать все виды и количество отрицательных результатов, условия их получения и методы его устранения при необходимости. Проводимые исследования предоставляются в наглядной форме, не только экспериментальные, но и теоретические. Это могут быть таблицы, схемы, графические модели, графики, диаграммы и т.п. Формулы, уравнения, рисунки, фотографии и таблицы должны иметь подписи или заголовки (не более 10 страниц).

– слово ВЫВОДЫ / ҚОРЫТЫНДЫ / CONCLUSION (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Собираются тезисы основных достижений проведенного исследования. Они могут быть представлены как в письменной форме, так и в виде таблиц, графиков, чисел и статистических показателей, характеризующих основные выявленные закономерности. Выводы должны быть представлены без интерпретации авторами, что дает другим ученым возможность оценить качество самих данных и позволит дать свою интерпретацию результатов (не более 1 страницы).

**10 Список использованных источников** включает в себя:

– слово СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ / REFERENCES (Нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

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 для кругозора читателям, как смежные работы, проводимые параллельно. Рекомендуемый объем не более чем из 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Статья и список литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

**11 Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

**12 Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

#### **На отдельной странице (после статьи)**

**В бумажном и электронном вариантах приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);**

#### **Информация для авторов**

**Все статьи** должны сопровождаться **двумя рецензиями** доктора или кандидата наук для всех авторов. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

**Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.**

При необходимости статья возвращается автору на доработку. 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).**

Статью (бумажная, электронная версии, оригиналы рецензий и квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

**140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,**

**Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.**

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: [kereku@psu.kz](mailto:kereku@psu.kz)

[www.vestnik.psu.kz](http://www.vestnik.psu.kz)

Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге.**

#### **Наши реквизиты:**

РГП на ПХВ Павлодарский  
государственный университет имени  
С. Торайгырова  
РНН 451800030073  
БИН 990140004654  
АО «Цеснабанк»  
ИИК KZ57998FTB00 00003310  
БИК TSESKZK A  
Кбе 16  
Код 16  
КНП 861

РГП на ПХВ Павлодарский  
государственный университет имени  
С. Торайгырова  
РНН 451800030073  
БИН 990140004654  
АО «Народный Банк Казахстана»  
ИИК KZ156010241000003308  
БИК HSBKZKZK  
Кбе 16  
Код 16  
КНП 861

## ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ГРНТИ 396.314.3

**А. Б. Есімова**

к.п.н., доцент, Гуманитарно-педагогический факультет, Международный Казахско-Турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан  
e-mail: ad-ad\_n@mail.ru

## СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с кодификацией норм устной речи в орфоэпических словарях, являющихся одной из отраслей ортологической лексикографии. Проводится анализ составления первых орфоэпических словарей, говорится о том, что в данных словарях большее внимание уделяется устной орфографии в традиционном применении, а языковые нормы устной речи остались вне внимания. Также отмечается, что нормы устной речи занимают особое место в языке программ средств массовой информации, таких как радио и телевидение, и это связано с тем, что диктор читает свой текст в микрофон четко по бумажке. В статье также выявлены отличия устной и письменной речи посредством применения сравнительного метода, и это оценивается как один из оптимальных способов составления орфоэпических словарей.

Ключевые слова: репродуктивное поведение, семейно-родственные связи.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время отрасль мобильной робототехники переживает бурное развитие. Постепенно среда проектирования в области мобильной ...

*Продолжение текста*

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

На современном этапе есть тенденции к стабильному увеличению студентов с нарушениями в состоянии здоровья. В связи с этим появляется необходимость корректировки содержания учебно-тренировочных занятий по физической культуре со студентами, посещающими специальные медицинские группы в...

*Продолжение текста публикуемого материала*

**ВЫВОДЫ**

В этой статье мы представили основные спецификации нашего мобильного робототехнического комплекса...

*Продолжение текста*

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 - Показатели репродуктивного поведения

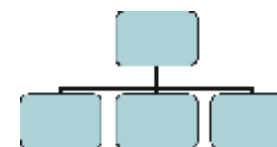
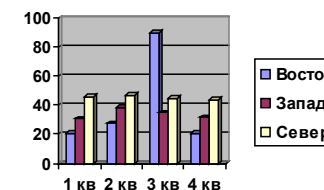


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Эльконин, Д. Б. Психология игры [Текст] : научное издание / Д. Б. Эльконин. – 2-е изд. – М. : Владос, 1999. – 360 с. – Библиогр. : С. 345–354. – Имен. указ. : С. 355–357. – ISBN 5-691-00256-2 (в пер.).

2 Фришман, И. Детский оздоровительный лагерь как воспитательная система [Текст] / И. Фришман // Народное образование. – 2006. – № 3. – С. 77–81.

3 Антология педагогической мысли Казахстана [Текст] : научное издание / сост. К. Б. Жарикбаев, сост. С. К. Калиев. – Алматы : Рауан, 1995. – 512 с. : ил. – ISBN 5625027587.

4 [http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/4/#part\\_0](http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/4/#part_0).

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Гуманитарлық-педагогикалық факультеті,  
Қ. А. Ясави атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті,  
Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы.

A. B. Yesimova

**The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors**

Faculty of Humanities and Education,  
K. A. Yesevi International Kazakh-Turkish University,  
Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan.

*Мақалада ортологиялық лексикографияның бір саласы – орфоэпиялық сөздіктердегі ауызыша тіл нормаларының кодификациялануымен байланысты мәселелер қарастырылады. Орфоэпиялық сөздік құрастырудың алғашқы тәжірибелері қалай болғаны талданып, дәстүрлі қолданыстағы ауызыша емлесімен, әсіресе мектеп өмірінде жазба сөзге ерекше көңіл бөлініп, ал ауызыша сөздің тілдік нормалары назардан тыс қалғаны айтылады. Сонымен қатар ауызыша сөз нормаларының бұқаралық ақпарат құралдары – радио, телевизия хабарлары тілінде ерекше орын алуы микрофон алдында диктордың сөзді қағаз бойынша нақпа-нақ, тақпа-тақ айтуымен байланысты екені атап көрсетілді. Сөздікте ауызыша сөзбен жазба сөздің салғастыру тәсілі арқылы олардың айырмасын айқындағаны айтылып, орфоэпиялық сөздік құрастырудың бірден-бір оңтайлы жолы деп бағаланады.*

*The questions, related to the norms of the oral speech codification in pronouncing dictionary are the one of the Orthologous Lexicography field, are examined in this article. The analysis of the first pronouncing dictionary is conducted, the greater attention in these dictionaries is spared to verbal orthography in traditional application, and the language norms of the oral speech remained without any attention. It is also marked that the norms of the oral speech occupy the special place in the language of media programs, such as radio and TV and it is related to that a speaker reads the text clearly from the paper. In the article the differences of the oral and writing language are also deduced by means of application of comparative method and it is estimated as one of optimal methods of the pronouncing dictionary making.*

**ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА**  
**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА**  
**(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,**  
**«КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия журнала «Вестник ПГУ. Серия энергетическая» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты авторитетных международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, 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 приложить 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 редколлегий статья отклоняется от публикации.

Теруге 04.06.2020 ж. жіберілді. Басуға 26.06.2020 ж. қол қойылды.  
Пішімі 70x100  $\frac{1}{16}$ , Кітап-журнал қағазы.  
Шартты баспа табағы 29,3. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы  
Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Жумабекова  
Тапсырыс № 3643

Сдано в набор 04.06.2020 г. Подписано в печать 26.06.2020 г.  
Формат 70x100  $\frac{1}{16}$ . Бумага книжно-журнальная.  
Усл. печ. л. 29,3. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы  
Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Жумабекова  
Заказ № 3643

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69  
e-mail: kereku@psu.kz  
www.vestnik.psu.kz