Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайгыров университета

Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж
выдано
Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

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

Подписной индекс – 76136

https://doi.org/10.48081/OGVZ5983

Бас редакторы – главный редактор
Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора — Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*
Ответственный секретарь — Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н.,, доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
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 Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

Атякшева А. В., Атякшева А. Д., Рывкина Н. В., Жакишев Б. А.
Белсенді қоспаларды қолдана отырып, өндірістік дизельді қозғалтқыштардың уыттылығын төмендету мүмкіндігін зерттеу 12
Әбділлә М. Ә., Чихрай Е. В., Әскербеков С. Қ., Аханов А. М., Бергузинов А. Н.
«Cirra» ССР-қ қондырғысында сәулелендіру тәжірибелері барысында клапандарды басқару және мониторингілеу жүйесі 23
Бак А. В., Лещинская Э. М.
Бағдарламалық-конфигурацияланатын желілердегі OpenFlow хаттамасы 35
Барзов А. А., Денчик А. И., Мусина Ж. К., Ткачук А. А.
Механикалық өңдеу процесінің бірнеше бұзылуы кезінде атқарушы өлшемнің дәлдігін қалыптастыруды модельдеудің ықтималды моделі 45
Бейсенбі М. Ә., Темирбек А., Маймұрынова А. А.
Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен бір кірісі және бір шығысы бар объект үшін адаптерді синтездеу 58
Герасименко Т. С.
Comsol Multiphysics ортасын пайдалана отырып, коаксиалды кабельдегі жоғары жиіліктер саласындағы ток тығыздығын бөлуді зерттеу 69
Жетписбаева А. Т., Жетписбаев К. У., Кусаинова К. Т., Әлімжан М. Х., Сериков Т. Г.
Телекоммуникациялық желілер үшін M2M технологиясы 80
Жумадиллаева А. К., Оразбаев Б. Б., Тулеуов Ж. Н., Оразбаева К. Н., Сантеева С. А.
Риформинг қондырғысы жұмыс режимдерін басқаруда шешім қабылдау айқын емес есепті шешу алгоритмі 87
Жұмақанов С. Қ., Садықбек Т. А.
Электрмен жабдықтау жүйелерінің релелік қорғаныс және автоматика құрылғыларын талдау 101
Исабеков Д. Д., Талипов О. М.
Геркондағы ток қорғанысын жүзеге асыру 113
Искаков Р. М., Мулдашева М. Г.
Ет сүйекті шикізатты ұсақтауға арналған энергия сыйымды балғалы үатқыш 123

Қалекеева М. Е., Литвинов Ю. Г., Керибаева Т. Б.
Жәрдемқызы С., Манарбекқызы Б.
Адаптивті сүзгі алгоритмін талдау және салыстыру 130
Калмагамбетова А. Ш., Богоявленская Т. А.
Жылу желісінің алдын-ала оқшауланған
құбырының ұзақтығын модельдеу 143
Кауанов А. С., Паршина Г. И., Сичкаренко А. В.
Ұқсатқыш стенд негізінде сорғыш құрылғыларының
жұмысын зерттеу әдісін дамыту 152
Келаманов Б. С., Алдияр М. К., Акуов А. М.,
Самуратов Е. К., Обилец А. М., Булатов М. М.
Кесектелген никель кендерінен ферроникель
алу технологиясын зерттеу 163
Косяков И. О., Полушин М. Ю.
Мобильді комплекстердің абаны кондиционарлау
жүйелерінде қолдануға пид-контроллерінің
коэффициенттерін таңдау және сынау 173
Кубегенова А. Д., Искаков К. Т.
Data mining технологиясының көмегімен,
медицинада интеллектуалды талдау жасау
және әдістерді қолдану аспектілері 184
Литвинов Ю. Г., Керибаева Т. Б.
Ұшқышсыз ұшу аппаратының ұшу қозғалысындағы
белгісіздігін анықтау 198
Малдыбаев Ә. Л., Туманбаева К. Х.
M2M трафикпен құрылған ұялы байланыс желісіндегі
жүктемені бақылау әдісі 205
Манатбаев Р. К., Ғалым Н. М., Қосбаев Ә. М.
Қатал климаттық жағдайлар үшін
жел энергетикасының перспективті технологиялары 217
Мехтиев А. Д., Сарсикеев Е. Ж., Нешина Е. Г.,
Алькина А. Д., Жумажанов С. К.
G652 оптикалық талшығының механикалық
созылуының оның қызмет ету мерзіміне әсерін зерттеу 228
Сансызбай Қ. М., Кисманова А. А., Соболева Л. А.
Қазақстан темір жол желісінде қолданыстағы
радиоблокировка жүйесінде мәліметтер
тарату кезінде ақпарат қауіпсіздігін қамтамасыз ету 239
Сапақова С. З., Мұқашев Ж. Е.,
Сыдықова Н. С., Әліп Е. Б.
Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдана отырып
клиенттердің ағынын болжау 252

Сапарходжаев Н. П., Баймаханова А. С.,
Жусипбек Б. К., Уразалиев К.
Орталықтандырылған бақылау негізінде
кәсіпорында құжат айналымын жақсарту 265
Темирбекова А. А., Лещинская Э. М.
Қазіргі заманғы байланыс орталығының
қызметтін стратегиялық талдау 276
Хацевский К. В., Гоненко Т. В.
Ресейдің энергетикалық жүйесіне
жел электр станцияларын енгізуді талдау 287
Чныбаева Д. М., Цыба Ю. А.
Энергия тиімді жиілікті реттелетін электр жетегін
жүзеге асыру үшін компрессорлық станцияларды жаңарту 295
Шавдинова М. Д., Борисова Н. Г.
Конденсациялық қондырғының буағынды
эжекторының математикалық моделін әзірлеу 307
Шерьязов С. К., Исенов С. С., Қайдар А. В.
Желді турбиналарға энергия конвертерлерінің эволюциясы 317

Авторлар туралы ақпарат 330

Авторларға арналған ережелер 353

Жарияланым этикасы 364

СОДЕРЖАНИЕ

Атякшева А. В., Атякшева А. Д., Рывкина Н. В., Жакишев Б. А.
Исследование возможности снижения токсичности дизельных промышленных двигателей при использовании активных добавок 12
Абдилла М. А., Чихрай Е. В., Аскербеков С. К., Аханов А. М., Бергузинов А. Н.
Система мониторинга и управления клапанами установки «CIRRA» ВВР-К при проведении облучательных экспериментов 23
Бак А. В., Лещинская Э. М.
Протокол OpenFlow в программно-конфигурируемых сетях 35
Барзов А. А., Денчик А. И., Мусина Ж. К., Ткачук А. А.
Вероятностная модель имитационного моделирования формирования точности исполнительного размера при множественном возмущении процесса механической обработки 45
Бейсенби М. А., Темирбек А., Маймурынова А. А.
Синтез адаптера для объекта с одним входом и одним выходом градиентно-скоростным методом вектор-функции Ляпунова 58
Герасименко Т. С.
Исследование распределения плотности тока в области высоких частот в коаксиальном кабеле с использованием среды Comsol Multiphysics 69
Жетписбаева А. Т., Жетписбаев К. У., Кусаинова К. Т., Әлімжан М. Х., Сериков Т. Г.
Телекоммуникационные сети для технологий M2M 80
Жумадиллаева А. К., Оразбаев Б. Б., Тулеуов Ж. Н., Оразбаева К. Н., Сантеева С. А.
Алгоритм решения нечеткой задачи принятия решений по управлению режимами работы установки риформинга 87
Жұмақанов С. Қ., Садықбек Т. А.
Анализ устройства релейной защиты и автоматики систем электроснабжения 101
Исабеков Д. Д., Талипов О. М.
Реализация токовых защит на герконах 113
Искаков Р. М., Мулдашева М. Г.
Энергоемкий молоток для измельчения мясокостного сырья 123

Қалекеева М. Е., Литвинов Ю. Г., Керибаева Т. Б., Жардемкызы С., Манарбеккызы Б.
Анализ и сравнение алгоритмов адаптивного фильтра 130
Калмагамбетова А. Ш., Богоявленская Т. А.
Моделирование долговечности предизолированного трубопровода тепловой сети 143
Кауанов А. С., Паршина Г. И., Сичкаренко А. В.
Разработка методики исследования работы насосных установок на базе стенда-имитатора 152
Келаманов Б. С., Алдияр М. К., Акуов А. М., Самуратов Е. К., Обилец А. М., Булатов М. М.
Исследование технологии получения ферроникеля из окускованных никелевых руд 163
Косяков И. О., Полушин М. Ю.
Подбор и тестирование коэффициентов пид-регулятора для применения в системах кондиционирования мобильных комплексов 173
Кубегенова А. Д., Искаков К. Т.
Аспекты интеллектуального анализа и применения методов в медицине с помощью технологии Data Mining 184
Литвинов Ю. Г., Керибаева Т. Б.
Определение неопределенности в летном движении беспилотного летательного аппарата 196
Малдыбаев А. Л., Туманбаева К. Х.
Метод контроля перегрузки в сети мобильной связи, создаваемой M2M трафиком 205
Манатбаев Р. К., Ғалым Н. М., Қосбаев Ә. М.
Перспективные технологии ветровой энергетики для суровых климатических условий 217
Мехтиев А. Д., Сарсикеев Е. Ж., Нешина Е. Г., Алькина А. Д., Жумажанов С. К.
Исследование влияния механического растяжения оптического волокна G652 на срок его службы 228
Сансызбай К. М., Кисманова А. А., Соболева Л. А.
Обеспечение безопасности информации при передаче данных в действующей системе радиоблокировки на сети железных дорог Казахстана 239
Сапакова С. З., Мукашев Ж. Е., Сыдыкова Н., Алип Е. Б.
Использование алгоритмов машинного обучения для прогнозирования потока клиентов 252
Сапарходжаев Н. П., Баймаханова А. С., Жусипбек Б. К., Уразалиев К.
Усовершенствование документооборота на предприятии на основе централизованного контроля 265

Темирбекова А. А., Лещинская Э. М.
Стратегический анализ деятельности
современного контакт-центра 276
Хацевский К. В., Гоненко Т. В.
Анализ внедрения ветровых электростанций
в энергосистему России 287
Чныбаева Д. М., Цыба Ю. А.
Модернизация компрессорных станций
путем внедрения энергоэффективного
частотно-регулируемого электропривода 295
Шавдинова М. Д., Борисова Н. Г.
Разработка математической модели
пароструйного эжектора конденсационной установки 307
Шерьязов С. К., Исенов С. С., Кайдар А. В.
Эволюция преобразователей энергии
для ветровых турбин 317

Сведения о авторах 330

Правила для авторов 353

Публикационная этика 364

CONTENT

Atyaksheva A. V., Atyaksheva A. D.,
Ryvkina N. V., Zhakishev B. A.
Study on reduction of the toxicity
of diesel engines with active additives.....12
Abdilla M. A., Chikhray E. V., Askerbekov S. K.,
Axanov A. M., Berguzinov A. N.
Monitoring and control system for valves of the «CIRRA» WWR-K
installation during irradiation experiments 23
Bak A. V., Leshchinskaya E. M.
OpenFlow protocol in software defined networks.....35
Barzov A. A., Denchik A. I., Mussina Zh. K., Tkachuk A. A.
Probability model of imitation modeling
accuracy formation of executive dimension
with multiple disturbances of the mechanical process.....45
Beisenbi M. A., Temirbek A., Maimurynova A. A.
Synthesis of an adapter for an object
with one input and one output by the gradient-velocity
method of the Lyapunov vector function 58
Gerassimenko T. S.
Investigation of the current density distribution
in the high-frequency region in a coaxial
cable using the Comsol Multiphysics environment.....69
Zhetpisbayeva A. T., Zhetpisbayev K. U., Kussainova K. T.,
Alimzhan M. Kh., Serikov T. G.
Telecommunication networks for M2M technologies.....80
Zhumadillaeva A. K., Orazbaev B. B., Tuleuov Zh. N.,
Orazbaeva K. N., Santeyeva S. A.
Algorithm for solving the fuzzy decision-making
problem for controlling the operating modes of the reforming plant 87
Zhumakanov S. K., Sadykbek T. A.
Analysis of relay protection and automation
devices of power supply systems.....101
Issabekov D. D., Talipov O. M.
Realization of current protection on reed switches.....113
Iskakov R. M., Muldasheva M. G.
Energy-intensive hammer for grinding
meat and bone raw materials 123
Kalekeyeva M., Litvinov Y., Keribayeva T.,
Zhardemkyzy S., Manarbekkyzy B.
Analysis and comparison of adaptive filter algorithms.....130
Kalmagambetova A. Sh., Bogoyavlenskaya T. A.
Modeling the lifetime of the preinsulated heating network pipeline 143

Kauanov S., Parshina G. I., Sichkarenko A. V.
Development of methodology for studying the operation
of pumping units on the basis of a stand-simulator 152
Kelamanov B. S., Aldiyar A. K., Akuov A. M.,
Samuratov Ye. K., Obilets A. M., Bulatov M. M.
Research on the technology for producing
ferronickel from nickel-oxide ores.....163
Kossyakov I. O., Polushin M. Yu.
Selection and testing of pid regulator coefficients
for use in air conditioning systems of mobile complexes.....173
Kubegenova A. D., Iskakov K. T.
Aspects of intellectual analysis and application
of methods in medicine using data mining technology 184
Litvinov Y. G., Keribayeva T. B.
Determination of uncertainty in the flight movement
of an unmanned aerial vehicle 196
Maldybayev A. L., Tumanbayeva K. H.
Method for monitoring congestion in the mobile
network created by M2M traffic 205
Manatbayev R. K., Galym N. M., Kosbayev A. M.
Promising wind energy technologies
for harsh climatic conditions 217
Mekhtiyev A. J., Sarsikeyev Y. Z., Neshina Ye. G.,
Alkina A. D., Zhumazhanov S. K.
Study of the influence of the mechanical tension
of optical fiber G652 on the life of its service.....228
Sansyzbay K. M., Kismanova A. A., Soboleva L. A.
Ensuring the security of information when transferring
data in the existing radio blocking system
on the railway network of Kazakhstan 239
Sapakova S., Mukashev Zh. E., Sydykov N., Alip E. B.
Using machine learning algorithms to predicting customer flow 252
Saparkhojayev N. P., Baimakhanova A. S.,
Zhussipbek B. K., Urazaliyev K.
Improvement of document turnover at the enterprise
on the basis of centralized control.....265
Temirbekova A. A., Lechshinskaya E. M.
Strategic analysis of the activities
of a modern contact center.....276
Khatsevskiy K. V., Gonenko T. V.
Analysis of the implementation of wind power
plants in the Russian energy system.....287
Chnybayeva D. M., Tsyba Yu. A.
Modernization of compressor stations by implementation
of energy efficient frequency controlled electric drive.....295

Shavdinova M., Borissova N.
Condensing unit steam jet ejector
mathematical model development 307
Sheryazov S. K., Issenov S. S., Kaidar A. B.
Evolution of energy converters for wind turbines.....317

Information about the authors.....330

Rules for authors 353

Publication ethics 364

МРНТИ 44.09.29

https://doi.org/10.48081/WJUD7968

***А. В. Атякшева[1], А. Д. Атякшева[2],**
Н. В. Рывкина[3], Б. А. Жакишев[3]
[1]Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан;
[2]Бюро «Наилучшие доступные технологии», НАО «Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов», г. Нур-Султан, Республика Казахстан;
[3,4]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Республика Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК

На сегодняшний день одним из наиболее рациональных путей решения проблемы снижения токсичности и дымности установок, эксплуатируемых на базе дизельных двигателей является повышение экологических и эксплуатационных показателей промышленных двигателей, работающих по полному дизельному циклу с частичным переводом на газодизельный цикл при сохранении базовых характеристик дизельных двигателей и возможностью одновременного осуществления дизельного и газодизельного цикла без вмешательства в конструкцию двигателя. Одновременное осуществление дизельного и газодизельного цикла повлияет на повышение коэффициента полезного действия двигателя. При этом имеется возможность повышения эксплуатационной надёжности промышленного двигателя при снижении уровня вредных выбросов в отработавших газах и снижении уровня шума. В статье представлены результаты исследований возможности снижения токсичности дизельных промышленных двигателей, на примере двигателя «Caterpillar» 3512 с учётом объёма цилиндра и максимального давления в рабочем цикле при использовании активной добавки природного газа. В связи с чем, проведен термодинамический

анализ рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания CAT C15 с применением активной добавки для сглаживания кривой скорости по тепловыделению в период догорания топлива, при использовании газодизельного цикла, без исключения дизельного.

Ключевые слова: токсичность, дизельный двигатель, термодинамический анализ, активная добавка, рабочий цикл.

Введение

Эффективное применение установок, эксплуатируемых на базе дизельных двигателей при пониженном содержании и нейтрализации вредных выбросов на сегодняшний день один из наиболее актуальных вопросов для предприятий многих отраслей Республики Казахстан [1, 2]. Достижение параметров пониженного содержания или полной нейтрализации токсичности может быть осуществлено в условиях повышения полноты сгорания топлива. Таких условий можно добиться корректировкой работы промышленного дизельного двигателя на основе термодинамического анализа процессов горения, диагностирующего эксплуатацию двигателя при нормальных условиях. Корректировка процессов горения может быть произведена двумя основными способами:

– технической корректировкой конструкции двигателя

– корректировкой топливной смеси.

При этом, техническая корректировка конструкции двигателя вызовет изменение эксплуатационных базовых характеристик, что нежелательно для любой установки как потребителя ДВС. Корректировка топливной смеси не влияет на конструкцию двигателя и не изменяет его базовых технических характеристик [3–5].

Объект исследования: промышленные установки горнодобывающей отрасли, эксплуатируемые на базе дизельных двигателей

Предмет исследования: токсичность дизельных двигателей

Цель: научно-теоретическое исследование эффективного использования дизельного топлива оборудования спецтехники (передвижных парогенераторных установок, сварочных установок и др…) при разработке рекомендаций по снижению и нейтрализации вредных примесей в отработавших газах.

Задачи:

– проведение термодинамического анализа рабочего цикла ДВС CAT C15, 3412 STA и C18 ACERT с использованием топлива ДТ-Е-К4 по ГОСТ 305-82 с целью выявления возможности применения активной добавки природного газа;

– обоснование целесообразности применения активной добавки природного газа в дизельное топливо ДТ-Е-К4 по ГОСТ 305-82.

Методы и результаты исследования:

В рамках расчётно-теоретических исследований проведен термодинамический анализ рабочего цикла дизельного двигателя CAT C15. Дизельный промышленный двигатель 3512 производства Caterpillar (США) – 12-цилиндровый, V-образный, 4-тактный, с непосредственным впрыском топлива, турбонаддувом с последовательным охлаждением и электронным управлением [6].

В данном случае, задачей термодинамического анализа газообменных процессов является определение возможности снижения химического и механического недожога топлива в условиях заданных параметров [7, 8]:

При этом:

Плотность окружающей среды:

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot 10^6}{R_B \cdot T_o} = 1{,}114 кг/м^3$$

Средняя скорость смеси на выпуске в сечении клапана с учетом диаметра цилиндра:

$$W_{см} = \frac{F_n \cdot S_{пп} \cdot n}{30 \cdot f_{ср}} \cdot 6{,}05 \frac{S_{пп} \cdot n}{30} \cdot 10^3 = 64{,}18 м/с$$

Нормативный параметр скорости смеси находиться в пределах от 50 до 90 м/с, что удовлетворяет требованиям термодинамических параметров системы ДВС [9]. Увеличение скорости при миксировании добавкой природного газа показывает на повышение скорости на 5 %.

Давление в процессе впуска к началу такта сжатия составит:

$$P_a = P_o - \left(\beta^2 + \zeta\right) \cdot \frac{W_{cv}^2}{2} \cdot \rho_0 10^6 = 0{,}09814 МПа$$

Повышение давления в процессе впуска к началу такта сжатия при активной добавке природного газа произойдёт на 0,5 %.

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_г = \frac{T_k \Delta T}{T_г} \cdot \frac{P_г}{\varepsilon \cdot P_a \cdot P_г} = 0{,}022221$$

$\gamma_г$ составляет 0,022, что свидетельствует о снижении при активной добавке природного газа на 56 %.

Температура рабочей смеси на выпуске возрастает за счёт прогрева от стенок и перемешивания с остаточными газами и в двигателе CAT C15.

В соответствии с температурой рабочей среды на выпуске определяем основной оценочный показатель газообмена – коэффициент наполнения цилиндра:

$$\gamma_ц = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_k} \frac{T_k}{T_a(1+\gamma_г)} = 0{,}89009 K$$

Предельные значения коэффициента наполнения для дизельных промышленных двигателей и номинальной частоте вращения должны составлять 0,8–0,9. Коэффициент наполнения цилиндра двигателя CAT C15 имеет предельный запас не менее 0,1. Применение активной добавки природного газа показывает на возможность повышения коэффициента наполнения цилиндра на 0,05 %.

Процесс сжатия в двигателе CAT C15 при применении активной добавки природного газа происходит по политропе с постоянным значением термодинамического коэффициента политропного сжатия:

$$n_1 = 1 + \frac{8{,}314}{20{,}16 + 1{,}738 \cdot 10^{-3} T_a (\varepsilon^{n-1} + 1)} = 1{,}34$$

Значения давления и температуры в конце сжатия с учётом действительного показателя показателя политропы n_1:

$$P_c = P_a \cdot \left[\frac{V_a}{V_c}\right]^{n_1} = P_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 3{,}9899 МПа$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} = 1980{,}321 K$$

Параметры значений давления и температуры в конце сжатия соответствуют нормативным параметрам термодинамического политропного процесса промышленных дизельных двигателей (P_c= 3,5…6 МПа; T_c = 850–2500К). Применение активной добавки природного газа показывает

на возможность снижение температуры продуктов сгорания топлива на 0,63 % и снижения давления в конце сжатия на 18 %.

Теоретическое значение количества воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива ДТ-Е-К4 по ГОСТ 305–82 с учетом применения активной добавки природного газа в количестве 0,5 %:

$$L_0 = \frac{1}{0{,}23}\left[\frac{8}{3}C + 8H - O_T\right] = 16{,}156кг \qquad L_0 = \frac{1}{0{,}208}\left[\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_T}{32}\right] = 0{,}432кмоль$$

Снижение теоретического значения количества воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива при применении активной добавки природного газа происходит на 12 %.

Состав рабочей смеси при использовании 1 кг топлива для дизельного двигателя CAT C15:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 \frac{кмольсм}{кгтоп} = 0{,}80625$$

С учётом химического недожога топлива, количество выделившейся теплоты при сгорании смеси:

$$Q^p = \frac{Q_k - \Delta Q_k}{M_1 \cdot (1 - \gamma_z)} = 39{,}45792МДж/кг$$

С учётом применения активной добавки природного газа и химического недожога топлива количество выделившейся теплоты при сгорании смеси увеличивается на 3 % [10].

Средняя мольная теплоёмкость газов в заданном интервале температур от 0 ^{0}C до 1500 ^{0}C:

$$(mC_v)_{t_c}^{t_c} = 20{,}16 + 1{,}739 \cdot 10^{-3} t_c = 23{,}0006 \frac{кДж}{кмольС}$$

Средняя мольная теплоёмкость остаточных газов в конце сжатия, при α>1:

$$(mC_v'')_{t_0}^{t_c} = 20{,}1 + \frac{0{,}921}{\alpha} + \left(1{,}55 + \frac{1{,}38}{\alpha}\right) \cdot 10^{-3} \cdot t_c = 27{,}1514$$

Средняя теплоёмкость рабочей смеси:

$$(mC_v')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1+\gamma_z}\left[(mC_v')_{t_0}^{t_c} + \gamma_z (mC_v'')_{t_0}^{t_c}\right] = 25{,}4567 \frac{кДж}{кмольС}$$

Состав продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O2} = 0{,}99 \frac{кмольсм}{кгтоп}$$

Анализ процесса горения топлива показывает на химические преобразования внутри топливных процессов:

$$\Delta M = M_2 - M_1 = 0{,}085 \frac{кмольсм}{кгтоп}$$

Коэффициент молекулярного химического преобразования:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = 1 + \frac{\Delta M}{M_1} = 1{,}16$$

Повышение коэффициента молекулярного химического преобразования показывает на увеличение количества окислительно-восстановительных реакций на 7 %. В соответствии с чем, содержание остаточных газов снижается на 6,4 %.

Учёт содержания остаточных, несгоревших газов для оценки относительного изменения объёма:

$$\mu_d = \frac{\mu_0 + \gamma_k}{1 + \gamma_k} = 1{,}02$$

Учёт активной доли теплоты производится за счёт коэффициента активного использования теплоты на основе стехиометрического анализа процессов сгорания топлива .

Уравнение процессов сгорания ДВС:

$$\xi_z \cdot Q^p + \left[(mC_v'')_{t_0}^{t_z} + 8{,}314 \cdot \lambda\right] \cdot t_c + 2270(\lambda - \mu_d) = \mu_d \cdot \left[(mC_v'')_{t_0}^{t_z} \cdot 8{,}314\right] t_z$$

где:

$(mC_v'')_{t_0}^{t_z}$ – мольная теплоёмкость газовой смеси при постоянном объёме с учётом продуктов сгорания после окисления:

$$(mC_v'')_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \cdot \left[M_{cO_2} \cdot (mC_{VCO_2}) + M_{H_2O}(mC_{VH_2O}) + M_{O_2} \cdot (mC_{VO_2}) + M_{N_2} \cdot (mC_{VN_2})\right]$$

При проведении моделирования уравнения процессов сгорания с учётом эмпирических зависимостей по теплоёмкости продуктов сгорания в ДВС:

$$C_v'')_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \cdot \begin{bmatrix} \frac{C}{12} \cdot (39{,}123 + 0{,}3343 \cdot 10^{-2} \cdot t_z) + \frac{H}{2} \cdot (26{,}76 + 0{,}4438 \cdot 10^{-2} \cdot t_z) \\ + (0{,}208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0) \cdot 23{,}723 + 0{,}1457 \cdot 10^{-2} \cdot t_z + ((0{,}792 \cdot \alpha \cdot L_o) \\ \cdot 21{,}951 + 0{,}1457 \cdot 10^{-2} \cdot t_z \end{bmatrix}$$

Модель данного уравнения можно представить в виде:

$$A \cdot t_z^2 + B \cdot t_z + C = 0$$

Численное решение модели уравнения средней температуры в процессе:

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \div C}}{2 \cdot A} + 273 = 19800{,}944K$$

Максимальное давление в цикле с учётом допустимого значения максимального значения давления и заданного значения степени повышения давления:

$$P_z = \lambda \cdot P_c = 8{,}155МПа$$

Полученные значения средней температуры процесса и максимального давления в цикле свидетельствуют о выравнивании кривой тепловыделения и возможности снижения химического и механического недожога топлива.

Выводы

Термодинамический анализ показал, что активная добавка природного газа влияет на улучшение смесеобразования. Снижение коэффициента остаточных газов γ_z с 0,0322 до 0,022 свидетельствует об увеличении

количества свежего заряда, что подтверждает увеличении коэффициента наполнения $\gamma_ц$.

Увеличение давления в процессе впуска к началу такта до значения 0,09814 МПа способствует получению работы на 0,5 %.

Снижение температуры в конце сжатия показывает на увеличение полезного расхода теплоты и увеличения количества полезно выделившейся теплоты.

Наблюдается рост средней мольной теплоёмкости рабочей смеси на 4%. Кроме того, наблюдается снижение содержания остаточных несгоревших газов и снижение средней температуры процесса, что также положительно влияет на рабочий процесс и снижение токсичности отработанных газов.

Список использованных источников

1 **Амбарцумян, В. В., Носов, В. Б., Тагасов, В. И.** Экологическая безопасность автомобильного транспорта. [Текст] // Учебное пособие / В. В. Амбарцумян [и др.] – М. : Научтехлитиздат, 2015. – 208 с.

2 **Кульчицкий, А. Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. [Текст] // Учебник для ВУЗов – М. : Академический Проект, 2004. – 400 с.

3 **Чайнов, Н. Д.** Конструирование двигателей внутреннего сгорания [Текст] // Ученое пособие для студентов высших ученых заведений. – М. : Машиностроение, 2008. – 496 с.

4 **Марков, В. А.** Способ улучшения экологических показателей дизелей [Текст] // Журнал «Автомобильная промышленность» –2014. – № 8. – С. 8–10.

5 **Рачкин, В. А.** Улучшение технико-эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением комбинированной системы топливоподачи [Текст] // Автореферат диссертации кандидата техн. наук. – Пенза : ФГОУ ВПО ПГСХА, 2005. – 22 с.

6 Официальный сайт компании Caterpillar. [Электронный ресурс]. – https://www.caterpillar.com/ru.html.

7 **Чайнов, Н., Косарев, В., Панин, В.** Проблемы поршневого двигателестроения в России [Текст] // Журнал «Двигатель», 2000. – № 3. – С. 140–142.

8 **Марков, В. А.** Исследование работы дизеля на смесях дизельного топлива [Текст] // Журнал «Тракторы и сельхозмашины». – 2014. – № 11. – С. 3–9.

9 Diesel – Partikelfilter in Serie [Текст] // Журнал «KFZ – Betrieb» – 2003. – 93, № 46. – P. 54.

10 Diesel – Partikelfilter Besteht Feueztaufe [Текст] Журнал «KFZ – Betrieb» – 2003. – 93, № 50. – P. 37. 204.

References

1 **Ambarcumyan, V. V., Nosov, V. B., Tagasov, V. I.** Ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'nogo transporta. [Ambartsumyan V. V, Nosov V. B., Tagasov V. I. Ecological safety of motor transport] [Text] : Textbook – M. : Nauchtekhlitizdat, 2015. – 208 p.

2 **Kulchickii, A. R.** Toksichnost avtomobilnih i traktornih dvigatelei. [Kulchitsky A. R. Toxicity of automobile and tractor engines] [Text] : Textbook for higher education – M. : Academic Project, 2004. – 400 p.

3 **Chainov, N. D.** Konstruirovanie dvigatelei vnutrennego sgoraniya. [Chainov N. D. Designing of internal combustion engines] [Text] : Textbook for higher education. – M. : Mashinostroenie, 2008. – 496 p.

4 **Markov, V. A.** Sposob uluchsheniya ekologicheskih pokazatelei dizelei. [Markov, V. A. A way to improve the environmental performance of diesel engines] [Text] // Journal «Automotive industry». – 2014. – № 8. – P. 8–10.

5 **Rachkin, V. A.** Uluchshenie tehniko-ekspluatacionnih pokazatelei traktornih dizelei primeneniem kombinirovannoi sistemi toplivopodachi [Rachkin, V. A. Improvement of technical and operational indicators of tractor diesels by application of the combined fuel supply system [Text] : Autoabstract thesis for Candidate of Technical Sciences. – Penza : FGOU VPO PGSHA, 2005. – 22 p.

6 Oficialnii sait kompanii Caterpillar. [Official website of Caterpillar] [Electronic resource]. – https://www.caterpillar.com/ru.html.

7 **Chainov, N., Kosarev, V., Panin, V.** Problemi porshnevogo dvigatelestroeniya v Rossii [Chainov N., Kosarev V., Panin V. Problems of piston engine building in Russia] [Text]. Journal «Engine». – 2000. – № 3. – P. 140–142.

8 **Markov, V. A.** Issledovanie raboti dizelya na smesyah dizelnogo topliva [Markov, V. A. Investigation of the operation of a diesel engine on a mixture of diesel fuel] [Text]. Journal «Tractors and agricultural machinery» – 2014. – № 11. – P. 3–9.

9 Diesel – Partikelfilter in Serie [Text]. Journal «KFZ – Betrib» – 2003. – 93. – м№ 46. – P. 54.

10 Diesel – Partikelfilter Besteht Feueztaufe [Text]. Journal «KFZ – Betrieb» – 2003. – 93. – № 50. – P. 37. 204.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. В. Атякшева[1], А. Д Атякшева[2], Н. В. Рывкина[3], Б. А. Жакишев[3]

Белсенді қоспаларды қолдана отырып, өндірістік дизельді қозғалтқыштардың уыттылығын төмендету мүмкіндігін зерттеу

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы;
[2]«Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы» Ең озық қолжетімді технологиялар жанындағы бюросы,
Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы;
[3,4]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. V. Atyaksheva[1], A. D. Atyaksheva[2], N. V. Ryvkina[3], B. A. Zhakishev[3]

Study on reduction of the toxicity of diesel engines with active additives

[1]S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;
[2]International green technologies and investment projects center,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;
[3,4]L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Material received on 19.03.21.

Бүгінгі күні дизель қозғалтқыштарының негізінде пайдаланылатын қондырғылардың уыттылығы мен түтіндігін төмендету проблемасының шешімдерінің бірі дизель қозғалтқыштарының негізгі сипаттамаларын сақтай отырып және дизель және газ-дизель циклдерін қозғалтқыштың конструкциясына араласпай бір мезгілде іске асыру мүмкіндігін сақтай отырып, толық дизель циклі бойынша жұмыс істейтін өнеркәсіптік қозғалтқыштардың экологиялық және пайдалану сипаттамаларын арттыру болып табылады. Дизель және газ-дизель циклдерін бір уақытта іске асыру қозғалтқыштың тиімділігін арттыруға әсер етеді. Сонымен қатар, пайдаланылған газдардағы зиянды шығарындылардың деңгейін төмендету және шу деңгейін төмендету кезінде Өнеркәсіптік қозғалтқыштың пайдалану сенімділігін арттыруға болады. Мақалада «Caterpillar» 3512 қозғалтқышының мысалында, цилиндр көлемін есепке ала отырып және табиғи газдың белсенді қоспасын пайдалану кезіндегі жұмыс циклінде максималды қысымды ескере отырып, дизельді өнеркәсіптік қозғалтқыштардың уыттылығын төмендету мүмкіндігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Осыған байланысты, дизельді қоспаганда,

газ-дизель циклын пайдаланған кезде, отынның жанғаннан кейінгі кезеңінде жылу бөлу жылдамдығының қисығын тегістеу үшін белсенді қоспаны қолданып, CAT C15 ішкен жану қозғалтқышының жұмыс циклына термодинамикалық талдау жүргізілді.

Кілтті сөздер: дизельді қозғалтқыш, уыттылық, термодинамикалық талдау, белсенді қоспа, жұмыс циклі.

Today, one of the ways to solve the problem of reducing the toxicity and opacity of installations operated on the basis of diesel engines is to increase the environmental and operational performance of industrial engines operating on a full diesel cycle with a partial transfer to a gas-diesel cycle while maintaining the basic characteristics of diesel engines and using a diesel engine and gas-diesel cycle without interfering with the engine design. The simultaneous implementation of the diesel and gas-diesel cycle will affect the increase in the efficiency of the engine. At the same time, it is possible to increase the operational reliability of an industrial engine while reducing the level of harmful emissions in the exhaust gases and reducing the noise level. The paper presents the results of studies on the possibilities of reducing the toxicity of diesel industrial engines the «Caterpillar» 3512 engine, taking into account the cylinder capacity and maximum pressure in the operating cycle when using an active natural gas additive. A thermodynamic analysis of the operating cycle of an internal combustion engine CAT C15 using an active additive was performed to smooth out the velocity curve of the fuel during the burning-up of the fuel, using the gas diesel cycle, without exception of the diesel cycle.

Keywords: emission, diesel engine, thermodynamic analysis, active admixture, operating cycle.

ҒТАМР 58.33.09

https://doi.org/10.48081/EPUN6646

М. Ә. Әбділлә[1], Е. В. Чихрай[1], С. Қ. Әскербеков[1,2], А. М. Аханов[2], А. Н. Бергузинов[3]

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы;
[2]РҒҰ ЯФИ ЭМ ҚР, Алматы қ., Қазақстан Республикасы;
[3]Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы

«CIRRA» ССР-Қ ҚОНДЫРҒЫСЫНДА СӘУЛЕЛЕНДІРУ ТӘЖІРИБЕЛЕРІ БАРЫСЫНДА КЛАПАНДАРДЫ БАСҚАРУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГІЛЕУ ЖҮЙЕСІ

Бұл жұмыс, ССР-Қ реакторындағы ЯР және ТЯР материалдарынан газ бөлінуін зерттеуге арналған «CIRRA» қондырғысының 4 аналогтық температура мен вакуум жүйесінің қысым датчиктерін мониторингілеу және клапандарды қашықтан басқару автоматтандырылған жүйесіне арналған. 4K_Аргус аталатын бұл жүйе, аналогты-цифрлық кіріс-шығыс желісі бар, E14-140M көпканалдық аналогты-цифрлық түрлендіргішінің негізінде жасақталып құрылған.

Кілтті сөздер: газ бөлінуі, сәулелену, реактор, ТЯР.

Кіріспе

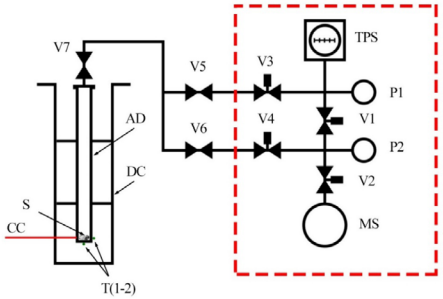
Химиялық белсенді газдардың ядролық және термоядролық реакторлардағы құрылымдық материалдармен әсерлесуін зерттеу қатты дене физикасының негізгі мәселелерінің бірі – интенсивті термиялық, радиациялық, химиялық, механикалық және басқа да сыртқы әсерлер жағдайында ұзақ уақыт жұмыс істейтін құрылымдық материалдарды құрудың іргелі негіздерін жасауға ықпал етеді [1, 2].

2018 жылы Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің №BR05236400 бағдарламасы шеңберінде ССР-Қ реакторында «in situ» сәулелендіру сынақтары кезінде ядролық және термоядролық реакторлардың материалдарынан газдың бөліну процестерін (үрдістерін) зерттеуге мүмкіндік беретін заманауи қондырғы әзірлеу және құру басталды. Басқа зерттеу реакторларындағы қолданыстағы қондырғыларды және онда газдың бөлінуін тіркеу әдістерін, сондай-ақ ССР-Қ реакторының ерекшеліктерін ескере отырып, талдаудан кейін вакуумды шығару әдісі таңдалды [3–10]. Газ эволюциясын тіркеу үшін квадрупольды масс-спектрометр қолданылады.

Бұл жұмыста ССР-Қ реакторында тәжірибе жүргізу кезінде қондырғының басқару клапандарын және өлшеу құралдарын қашықтықтан мониторингілеу жүйесін құру мен жасаудағы шешуші міндеттерінің бірі қаралды.

Материалдар мен тәсілдер

1-суретте «CIRRA» қондырғысының принциптік сызбасы көрсетілген. Қондырғының негізгі бөлігі – эксперименттік ампулалық құрылғы (AD). Ампулалық құрылғы ССР-Қ реакторының белсенді аймақ (СС) ортасы деңгейінде сыналатын үлгінің орналасуын қамтамасыз ете отырып, жүктеу каналына (DC) орнатылады. Сәулеленген сынамалардан бөлінетін газдарды бөліп алу үшін бүкіл жүйені сорып шығаратын TV-301 турбомолекулалық сорғы және IDP-3 (Agilent Technologies) құрғақ спиральды сорғысы негізіндегі жоғары вакуумды TPS-Compact (TPS) жоғары вакуумды сорғы станциясы қолданылады. Сондай-ақ, қондырғы өлшеу жабдықтарымен жабдықталған. Оған мыналар кіреді: реактор эксперименті кезінде қондырғының қуысындағы қалдық газдарды талдауға арналған RGA-100 (MS) квадрупольды масс-спектрометр; қысым датчиктері (Р); термопара (Т). Өлшеу жабдығы реакторды сынау кезінде қондырғы жүйелерінің параметрлерін қашықтықтан басқаруды, өлшеуді және тіркеуді қамтамасыз етуі керек. Қондырғының электр құрылғылары ССР-Қ реакторының жоғарыдағы бөлімінде «Домик ТМН» кодтық атауымен орнатылған (1 суретте ол қызыл нүктелі сызықпен көрсетілген): қысым датчиктері (Р1–Р2), термопаралар (Т1–Т2), вакуумды электрлік клапандар (V1–V4), сонымен қатар сорғы станциясы және масс-спектрометр. Оператордың қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үшін сәулелендіру тәжірибелері кезінде қондырғының электр құрылғыларын желі арқылы қашықтықтан басқару (IP-хаттамасы) жүзеге асырылды.



AD – ампулалық құрылғы; DC – жүктеу арнасы; S – үлгі, CC – белсенді аймақ ортасы, Т – термопара, V – вакуумдық клапан; Р – қысым датчигі; TPS – турбомолекулалық сорғы; МС – масс-спектрометр

Сурет 1 – ССР-Қ реакторындағы ЯР және ТЯР материалдарынан газдың бөлінуін зерттеуге арналған қондырғының сызбасы

Аналогты-сандық түрлендіргіш Е14-140М

Е14-140М [11] (2-сурет) – бұл USB-интерфейс арқылы дербес компьютерге қосылған шағын өлшемді көпфункционалды өлшеу модулі және сандық асинхронды кіріс-шығуды қамтамасыз ететін каналдарды мультиплекстеуімен тұрақты жақындайтын көпканалды АЦП құрайды.

Е14-140М модулі аналогтық деректерді жинауға, сондай-ақ сыртқы құрылғылардың күйін сандық бақылауға және қадағалауға арналған көпканалды өлшеу жүйелерін құруға арналған. Модульдің кішігірім өлшемдері және кең таралған USB интерфейсін қолдану Е14-140М-ді жоғары қозғалғыштықты қажет ететін өрістік өлшеуді ұйымдастыруға ыңғайлы етеді. Модульде аналогтық кірістердің процессордан және сыртқы басқару сызықтарынан гальваникалық оқшаулауы жоқ.

Е14-140М тұтынушылық қасиеттері:

– АЦП 14 бит 200 кГц-ке дейін, 16 коммутациялық каналдар, ± 10,0 В ішкі құрылымдар; ± 2,5В; ± 0,6В; Деректерді асинхронды және синхронды алу режимі үшін: 0,15 В (ANALOG);

– Асинхронды сандық енгізу 16 бит, шығыс 16 биттік мәліметтер (DIGITAL);

– АЦП синхрондаудың жетілдірілген режимдері, мәліметтерді жинау мен жеткізуді бастау: көп модульді синхрондау, аналогтық және цифрлық сигнал бойынша синхрондау;

– AT91SAM7S ARM-контроллеріне (бақылағышына) негізделген Е14-140М ішкі басқару архитектурасы (48 МГц ядросы, 64 кБ RAM, USB, JTAG қолдауы);

– Оны нақты уақыт режиміндегі (тәртібіндегі) алгоритмдерді жүзеге асыру үшін +5 В сыртқы қуат көзі бар нұсқада дербес деректерді жинау және басқару құрылғысы ретінде пайдалануға болады;

– ARM-контроллерінің төмен деңгейлі бағдарламалау мүмкіндігі, соның ішінде JTAG эмуляторын қолдану мүмкіндігі қарастырылған.

АЦП 16 аналогтық дифференциалды каналдардан немесе жалпыға ортақ 32 жалғыз каналдардан жауап ала алады.

Сурет 2 – E14-140M АЦП сыртқы көрінісі

Клапандарды басқару контроллері

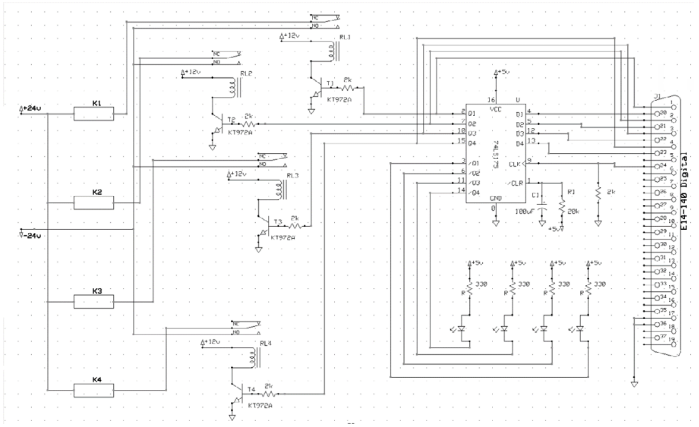
Бөлімнің вакуумдық жүйесі EDWARDS фирмасының электрмен басқарылатын төрт LCPV16EKA клапанын қолданады (а-суреті). Клапан жетегі 24В тұрақты немесе айнымалы кернеуде жұмыс істеуге арналған және клапанды ашық ұстау режимінде (72 Вт) және 200 мА (5 Вт) қосқан кезде 3А ток күшін тартады. Жүйедегі клапандарды пайдалану үшін тұрақты шығу кернеуі 24В және қуаты 250Вт болатын S-250-24 сыртқы қуат көзі қолданылады (3-б және 5-суреттер).

а) б)

Сурет 3 – а) LCPV16EKA электр вакуумдық клапаны (EDWARDS);
б) S-250-24 қуат блогы (24В, 250 Вт)

E14-140M модулінің төмен қуатты цифрлық шығуларын қондырғының вакуумдық жүйесінің электр вакуумдық клапандарының K1÷K4 басқару

үшін, жеткілікті деңгейге дейін күшейту үшін төрт клапанды басқару сигналдарының ағымдағы күйін және оларды күшейтуді сақтау үшін, буферлік (аралық) клапан реттегішінің схемасы жасалды. K1÷K4 клапандарын басқару схемасы 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4 – Вакуумдық клапан реттегішінің сызбасы

E14-140M модулінің шығыстарынан 4 биттік сөз түріндегі басқару ақпараты (логикалық «1» – ашық клапан, логикалық «0» – жабық) E14-140M модулінің Digital коннекторының (DO1÷DO4) сәйкес шығуларында орнатылады және төрт разрядты жад құрылғысының D1 ÷ D4 кірістері (D-триггер микросхемасы 74175, K155TM8 аналогы), онда DO5 шығысынан сәйкес команда (тапсырма) жіберілгеннен кейін сақталады, ал Q1÷Q4 шығыстарынан T1÷T4 шығыс транзисторларының негіздеріне беріледі. Транзисторлық коллекторлар +12В қуат шинасына RL1÷RL4 төмен ток релесінің орамдары арқылы қосылады. Осылайша, Q1÷Q4 шығысындағы сигналдың жоғары деңгейі сәйкес T1÷T4 транзисторларын ашады, ал төменгі деңгей RL1÷RL4 релесін қосып/өшіріп, оларды жабады. RL1÷RL4 релесі іске қосылған кезде олардың жұмыс істейтін түйіспелері жабылады және + 24V қуат жұмыс клапандарының дроссельдеріне беріледі K1÷K4. RL1÷RL4 төмен ток релелерін пайдалану K1÷K4 клапандарының электр тізбектерінің контроллер тізбегінің қалған бөлігінен гальваникалық оқшаулауын жасайды және K1÷K4 дроссельдерінің жұмысынан туындайтын қуатты коммутациялық шудың әсерін азайтуға мүмкіндік береді. K1÷K4 клапандарының ашық күйі контроллердің алдыңғы панеліндегі жасыл жарық диодтарымен көрсетілген (4-сурет), сонымен қатар E14-140M модулінің (айнымалы күйі) DI1÷DI4 (контактілер 1÷4) цифрлық кірістеріне басқару үшін беріледі және терезенің оң

жағында басқару бағдарламалары (Status өрісі) көрсетіледі. K1÷K4 клапандары контроллердің артқы жағындағы терминал блогына қосылған.

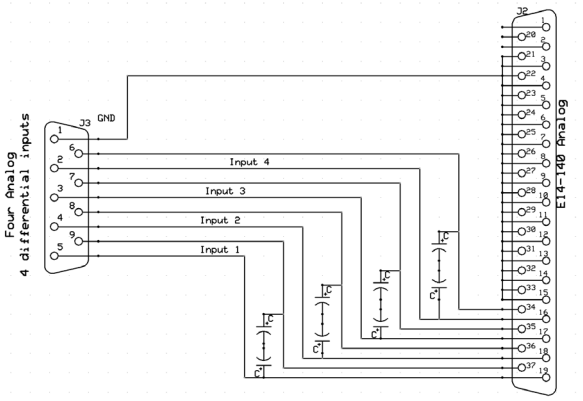
Клапандар төменде сипатталған K4Argus.exe бағдарламасымен жасалады, сипаттамасы төменде көрсетілген.

Сурет 5 – S-250-24 қуат блогы бар және K3 клапаны қосылған клапан реттегіші

Аналогтық сигналдарды қосу

Контроллерде төрт аналогтық сигналдың дифференциалды қосылуы қолданылады. Сигналды дифференциалды схема (сызба) бойынша қосу кезінде екі канал кірісі арасындағы кернеу айырмашылығын өлшейді. Осындай байланыста жалғаушы сымдарда пайда болатын шу кем дегенде 60 дБ-ге дейін төмендетіледі. Дифференциалды күшейткіштің дұрыс жұмыс істеуі үшін әрбір кіріс потенциалының жерге қатысты (фазалық кернеуі) көрсетілген кіріс диапазонынан (+/- 10 В) аспауы қажет. Әрбір сигнал көзі сәйкес каналға екі сыммен қосылады. Төңкерілмейтін АЦП кірістері (ANALOG коннекторының 37÷22 қосқыштары) сигнал көздерінің шығыс терминалдарына қосылады, ал инверсиялы АЦП кірістері (ANALOG коннекторының 19÷4 қосқыштары) тікелей сигнал көзі корпусында жерге тұйықталады. Жалпы жерге тұйықталу жеке сыммен жүзеге асырылады.

Біздің жағдайда 16 мүмкін болатын төрт аналогтық канал ғана пайдаланылады, сондықтан қосымша кірістер (33÷22 және 15÷4 қосқыштар) жерге негізделген, яғни, E14-140M модулінің ANALOG коннекторының 3 және 21 қосқыштарына қосылған. Каналдарды қосу схемасы (сызбасы) 6-суретте көрсетілген. C1-C8 конденсаторлары 100 Гц жоғары жиіліктегі кедергі деңгейін төмендетуге арналған.



Сурет 6 – ANALOG (модуль E14-140M) қосқышын сыртқы «ANALOG Input» қосқышпен байланысының схемасы (сызбасы)

4 сыртқы сигнал (4 жұп, 8 сым) контроллердің артқы панеліндегі «ANALOG Input» қосқышына (DB-9 типі) қосылған.

Кесте 1 – DB-9 «ANALOG Input» қосқышы контактілерінің тағайындалуы

Контакт	Тағайындалуы	Контакт	Тағайындалуы
1	Ортақ		
9	«+» Канал I	5	«-» Канал I
8	«+» Канал II	4	«-» Канал II
7	«+» Канал III	3	«-» Канал III
6	«+» Канал IV	2	«-» Канал IV

4K_Аргус қондырғысын бақылау және мониторингілеу жүйесінің басқару бағдарламасы

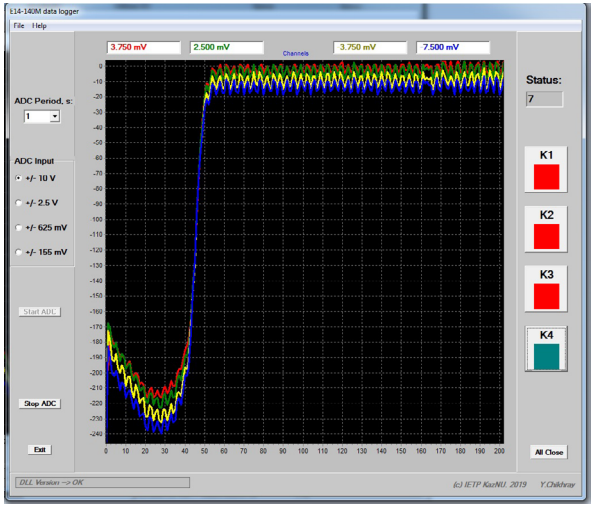
4KArgus.exe бағдарламасы Borland Dephi-7 ортасында E14-140M және Lusbapi.dll кітапханасымен жабдықталған USB драйверлерін қолданып жасалған. Оны алдымен компьютерге E14-140M АЦП және 4KArgus.exe бағдарламасымен жұмыс істейтін етіп орнату керек.

Өлшенетін мәліметтер массивтерін графикалық түрде көрсету үшін бағдарлама Delphi-де Microsoft Visual C-дегі ұқсас графикалық құралдарға қарағанда әлдеқайда ыңғайлы жоғары дамыған TChart графикалық объектілерін (нысандарын) қолданады.

7-суретте +/- 10 В сигнал диапазонында төрт аналогтық сигналдарды мониторингілеу кезіндегі 4KArgus бағдарламасының жұмыс терезесі көрсетілген.

Бағдарламада бір терезелі интерфейс және қарапайым мәзір бар. Бағдарлама терезесінің ортасында графикалық өріс және графиктің жоғарғы жағында төрт жазылған аналогтық сигналдарды шығаруға арналған төрт мәтін өрісі орналасқан. Бірінші арна қызыл, екіншісі жасыл, үшіншісі сары, төртіншісі көк. Сол жақта аналогтық тіркеу параметрлерін басқару панелі, оң жақта – К1-К4 клапандарының басқару панелі орналасқан.

Іске қосылған кезде бағдарлама жүйеде Lusbapi кітапханасының дұрыс нұсқасын тексереді. «Файл» мәзірінде E14-140M АЦП таңдалған каналдарының оқуларындағы өзгерістер журналы жазылатын мәтіндік файлдың аты орнатылады. Тіркеу кезінде файлдың аты бағдарламаның төменгі күй жолағында көрсетіледі. Егер аты көрсетілмесе, онда ақпарат тек диаграммада көрініс табады, мәліметтер файлға жазылмайды. Бағдарлама әрқайсысы 100000 нүктеге дейінгі төрт массивті жадыда сақтауға мүмкіндік береді, бұл 60 секундтық жазу интервалымен шамамен 70 күнге созылатын процестерді (үрдістерді) тіркеуге мүмкіндік береді.



Сурет 7 – Тіркеу кезіндегі 4KArgus бағдарламасының терезесі. К4 клапаны – ашық, К1÷К3 – жабық

4KArgus бағдарламасының негізгі басқару элементтері бағдарлама терезесінің бүйірлік панельдерінде орналасқан. Оң жақ панельде К1-К4 клапандарының төрт басқару батырмасы бар, олардың әрқайсысын басу (тышқанды шерту) сәйкес вакуум клапанына қосады (ашады) немесе өшіреді (жабады). Түйменің түсі әр басқаннан кейін циклдік түрде өзгереді және

сәйкес клапанның күйін көрсетеді: қызыл – клапан жабық, жасыл – клапан ашық. Төменде барлық клапандарды бірден жабуға арналған «Бәрін жабу» батырмасы бар. Сондай-ақ, клапандардың күйі Status өрісінде сандық түрде көрсетіледі. «0» – «барлығы ашық», «15» – барлығы жабық күйіне сәйкес келеді. Бірнеше клапандар жабылған кезде олардың Status айнымалысына қосқан үлестері қорытындыланады.

Өлшеу кезінде әр канал үшін ағымдағы кернеу мәні графикалық өрістің үстінде цифрлық түрде көрсетіледі.

Кесте 2 – Status айнымалысындағы клапанның жабылу салмағы

Клапан	Жабық	Ашық
К1	1	0
К2	2	0
К3	4	0
К4	8	0

Қорытынды

4К_Аргус электр клапандарын бақылау және өлшеу құрылғыларынан алынған деректерді автоматтандырылған қашықтықтан мониторингілеу жүйесі жасалды. Бұл жүйе толығымен енгізіліп, ССР-Қ реакторы негізінде құрылған атомдық және ТЯР материалдардан газдың бөлінуін зерттейтін «CIRRA» қондырғысына біріктірілген.

4К_Аргустың негізгі артықшылықтары:

– реакторлық тәжірибелер кезінде қондырғының барлық жүйелерін басқаруға бір оператор жеткілікті;

– сәулелендіру тәжірибелері кезінде оператордың қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етеді;

– төтенше жағдайларға (ағып кету, қызып кету және т.с.с.) жедел ден қоюға мүмкіндік береді және сорғы станциясы мен өлшеу жабдығы жұмысының бұзылу қаупін азайтады.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Тажибаева, И. Л.** Процессы переноса водорода в конструкционных материалах в поле ионизирующего излучения: (автореферат дис. доктора физико-математических наук: 01.04.07.). – Алматы, 1997. – 47 с.: ил.

2 **Кульсартов, Т. В.** Методика и аппаратурное обеспечение проведения длительных реакторных экспериментов по исследованию выделения трития из материалов твердотельных бланкетов ТЯР (автореф.дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.01: защищена 24.04.10: утв. 04.05.10). – Алматы, 2010. – 119 с.

3 **Lemmens, K., González-Robles, E., Kienzler, B., Curti, E., Serrano-Purroy, D., Sureda, R., Martínez-Torrents, A., Roth, O., Slonszki, E., Mennecart, T., Günther-Leopold, I., Hózer, Z.** Instant release of fission products in leaching experiments with high burn-up nuclear fuels in the framework of the Euratom project FIRST- Nuclides, Journal of Nuclear Materials, Volume 484, February 2017, P. 307–323.

4 **Burkes, E. D., Casella, J. A., Casella, A. M.** Measurement of fission gas release from irradiated U-Mo dispersion fuel samples, Journal of Nuclear Materials, Volume 478, September 2016, P. 365–374.

5 **Chikhray, Y., Shestakov, V., Kulsartov, T., Tazhibayeva, I., Kawamura, H., Kuykabaeva, A**. Measurement system for in-pile tritium monitoring from Li2TiO3 ceramics at WWRK reactor. Journal of Nuclear Materials, Volume 367–370 (2007), P. 1028–1032.

6 **Chakin, V., Rolli, R., Vladimirov, P., Moeslang, A**. Tritium and helium release from beryllium pebbles neutron-irradiated up to 230 appm tritium and 3000 appm helium, Nuclear Materials and Energy, Volume 9, December 2016, P. 207–215.

7 **Matthias, H., Kolb, H., Rolli, R., Knitter, R**. Tritium adsorption/release behaviour of advanced EU breeder pebbles, Journal of Nuclear Materials, Volume 489, June 2017, P. 229–235.

И Ran, G., Xiao, Ch., Chen, X., Gong, Y., Kang, Ch., Wang, X. Correlation between the processes of water desorption and tritium release from Li_4SiO_4 ceramic pebbles, Journal of Nuclear Materials, Volume 466, November 2015, P. 316–321.

9 **Kentaro O., Yuki E., Yoshinori K., Tsuyoshi H., Masayuki O., Satoshi S., Chikara K**. Experimental investigation on tritium release from lithium titanate pebble under high temperature of 1073 K, Fusion Engineering and Design, Volumes 98–99, October 2015, P. 184–1846.

10 **Til, S.van., Magielsen, A. J., Stijkel, M. P., Cobussen, H. L.** Out of pile tritium release behaviour and microscopic investigation of lithium metatitanate irradiated in the High Flux Reactor in Petten, Fusion Engineering and Design, Volume 85, Issues 7–9, December 2010, P. 1143–1146.

11 Внешний модуль АЦП/ЦАП/ТТЛ на шину USB [Электронный ресурс]. – https://www.lcard.ru/download/e14_440_users_guide.pdf.

References

1 **Tazhibaeva, I. L.** Protsessy perenosa vodoroda v konstruksionnykh materialakh v pole ioniziruiushchego izlucheniia. [Tazhibaeva, I. L. Processes of hydrogen transport in structural materials in the field of ionizing radiation]. (avtoreferat dis. doktora fiziko-matematicheskikh nauk: 01.04.07.). – Almaty, 1997. – 47 p.: il.

2 **Kulsartov, T. V.** Metodika i apparaturnoe obespechenie provedeniia dlitelnykh reaktornykh eksperimentov po issledovaniu vydeleniia tritiia iz materialov tverdotelnykh blanketov TYR. [Kulsartov, T. V. Methodology and hardware support for conducting long-term reactor experiments on the study of tritium isolation from materials of solid-state TRP blanks] (avtorev.dis. kand. Fiz-mat nauk: 01.04.01: zashchishchena 24.04.10: utv. 04.05.10). – Almaty, 2010. – 119 p.

3 **Lemmens, K., González-Robles, E., Kienzler, B., Curti, E., Serrano-Purroy, D., Sureda, R., Martínez-Torrents, A., Roth, O., Slonszki, E., Mennecart, T., Günther-Leopold, I., Hózer, Z.** Instant release of fission products in leaching experiments with high burn-up nuclear fuels in the framework of the Euratom project FIRST- Nuclides, Journal of Nuclear Materials, Volume 484, February 2017, P. 307–323.

4 **Burkes, E. D., Casella, J. A., Casella, A. M.** Measurement of fission gas release from irradiated U-Mo dispersion fuel samples, Journal of Nuclear Materials, Volume 478, September 2016, P. 365–374.

5 **Chikhray, Y., Shestakov, V., Kulsartov, T., Tazhibayeva, I., Kawamura, H., Kuykabaeva, A**. Measurement system for in-pile tritium monitoring from Li2TiO3 ceramics at WWRK reactor. Journal of Nuclear Materials, Volume 367–370 (2007), P. 1028–1032.

6 **Chakin, V., Rolli, R., Vladimirov, P., Moeslang, A**. Tritium and helium release from beryllium pebbles neutron-irradiated up to 230 appm tritium and 3000 appm helium, Nuclear Materials and Energy, Volume 9, December 2016, P. 207–215.

7 **Matthias, H., Kolb, H., Rolli, R., Knitter, R**. Tritium adsorption/release behaviour of advanced EU breeder pebbles, Journal of Nuclear Materials, Volume 489, June 2017, P. 229–235.

И Ran, G., Xiao, Ch., Chen, X., Gong, Y., Kang, Ch., Wang, X. Correlation between the processes of water desorption and tritium release from Li_4SiO_4 ceramic pebbles, Journal of Nuclear Materials, Volume 466, November 2015, P. 316–321.

9 **Kentaro O., Yuki E., Yoshinori K., Tsuyoshi H., Masayuki O., Satoshi S., Chikara K**. Experimental investigation on tritium release from lithium titanate pebble under high temperature of 1073 K, Fusion Engineering and Design, Volumes 98–99, October 2015, P. 184–1846.

10 **Til, S.van., Magielsen, A. J., Stijkel, M. P., Cobussen, H. L.** Out of pile tritium release behaviour and microscopic investigation of lithium metatitanate irradiated in the High Flux Reactor in Petten, Fusion Engineering and Design, Volume 85, Issues 7–9, December 2010, P. 1143–1146.

11 Vneshnyi modul ASZP/SZAP/TTL na shinu USB [Elektronnyi resurs]. – https://www.lcard.ru/download/e14_440_users_guide.pdf.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

М. А. Абдилла[1], Е. В. Чихрай[1], С. К. Аскербеков[1,2],
А. М. Аханов[2], А. Н. Бергузинов[3]

Система мониторинга и управления клапанами установки «CIRRA» ВВР-К при проведении облучательных экспериментов

[1]Казахский национальный университет имени аль-фараби,
г. Алматы, Республика Казахстан;
[2]РГП ИЯФ МЭ РК,
г. Алматы, Республика Казахстан;
[3]Торайгыров университет,
г. Павлодар, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 19.03.21.

M. A. Abdilla[1], E. V. Chikhray[1], S. K. Askerbekov[1,2],
A. M. Axanov[2], A. N. Berguzinov[3]

Monitoring and control system for valves of the «CIRRA» WWR-K installation during irradiation experiments

[1]Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan;
[2]INP ME RK, Almaty, Republic of Kazakhstan;
[3]Toraighyrov University,
Pavlodar, Republic of Kazakhstan.
Material received on 19.03.21.

Работа посвящена созданной системе автоматизированного удаленного управление клапанами и мониторинга 4-х аналоговых датчиков температуры и давления вакуумной системы установки по исследованию газовыделения из материалов ЯР и ТЯР – «CIRRA» на реакторе ВВР-К. Данная система, с рабочим названием 4К_Аргус, разработана и создана на базе многоканального аналогово-цифрового преобразователя Е14-140М, имеющего аналоговые, и цифровые линии ввода-вывода.

Ключевые слова: газовыделение, облучение, реактор, ТЯР.

The work is devoted to the created system of automated remote control of valves and monitoring of 4 analog temperature and pressure sensors of the installation vacuum system for the study of gas release from fission and fusion materials – «CIRRA» at the WWR-K reactor. The system, with the working name 4k_Argus, was developed and created based on a multi-channel analog-to-digital converter E14-140 M, which has analog and digital o/I lines.

Keywords: gas release, irradiation, reactor, fusion reactors.

МРНТИ 49.33.29

https://doi.org/10.48081/OCSE1583

А. В. Бак, Э. М. Лещинская
Алматинский университет энергетики и связи,
г. Алматы, Республика Казахстан

ПРОТОКОЛ OPENFLOW В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

На сегодняшний день самым распространенным решением для реализации управления сетевых устройств в программно-конфигурируемых сетях является протокол OpenFlow. OpenFlow – это протокол взаимодействия между сетевыми устройствами, такими как коммутаторы и маршрутизаторы, и централизованным контроллером, который представляет собой сетевую операционную систему, установленную на выделенном физическом сервере, в программно-конфигурируемой сети. Такое управление может заменить или дополнить работающую на сетевом устройстве функцию, осуществляющую построение маршрутов, создание таблицы коммутации и т.д.

В статье рассмотрена концепция создания программно-конфигурируемых сетей, показано их значение в развитии сетевых технологий. Выполнен анализ работы протокола OpenFlow в сети SDN. Представлен процесс управления программно-конфигурируемой сетью, созданной в Mininet, и подключенной к контроллеру OpenDaylight. Проанализирован трафик, передаваемый в результате взаимодействия контроллера и OpenFlow-коммутатора. Для исследования процесса обмена трафиком между узлами сети был использован анализатор сетевых пакетов Wireshark.

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, сеть SDN, протокол OpenFlow, протоколы связи, анализатор сетевых пакетов.

Введение

Традиционная архитектура сетей передачи данных требует существенных инвестиций для обеспечения потребностей по передаче растущих объемов трафика и подключения к сети все большего числа устройств. Сложность в обслуживании таких сетей сочетается зачастую с неполной совместимостью сетевых решений, что ведет за собой зависимость от

производителей оборудования. Несоответствие потребностей клиентов и предлагаемых на рынке решений привело к появлению новой концепции построения и организации работы сетей передачи данных – программно-конфигурируемым сетям (Software Defined Network, SDN). Разработан открытый стандарт протокола связи OpenFlow, который позволяет плоскости управления отключаться и взаимодействовать с плоскостью пересылки устройств из некоторой центральной точки, разделяя роли для повышения функциональности и программируемости [1, 2].

Основным отличием архитектуры сети SDN от традиционной является разделение плоскости управления и плоскости данных (рисунок 1). Традиционная сеть состоит из множества маршрутизаторов и коммутаторов, каждый из которых обменивается табличной информацией для построения топологий. Каждое из этих сетевых устройств имеет собственную индивидуальную плоскость для управления и контроля потоков данных в сети, управления маршрутами и алгоритмами маршрутизации, определения расположения различных устройств в сети. Также каждое сетевое устройство имеет собственную плоскость передачи для пересылки пакетов [3].

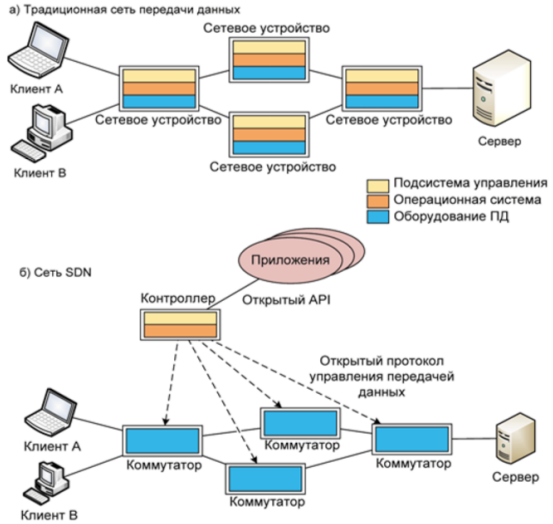


Рисунок 1 – Структура традиционной сети передачи данных и сети SDN

В SDN управление сетью реализовано в программном модуле, называемом контроллером, который реализует такие задачи, как построение маршрутов и принятие решений об обработке того или иного вида трафика. Каждый коммутатор поддерживающий протокол OpenFlow устанавливает с контроллером

свой управляющий канал, по которому получает инструкции по обработке трафика и запрашивает у контроллера, что делать с трафиком, который не подходит ни по одно правило в таблице потоков. Коммутатор имеет по крайне мере 1 таблицу потоков и набор записей потоков в этой таблице. Эти записи потока содержат поля совпадений, счетчики и инструкции для применения к совпадающим пакетам. Если соответствующая запись найдена, выполняются инструкции, связанные с конкретной записью потока. Если совпадения в таблице потоков не обнаружено, результат зависит от конфигурации записи потока для пропуска таблицы (это может быть действие «отбросить пакет», «передать в другую таблицу потоков» или отправить его на контроллер) [4, 5].

Материалы и методы

Для анализа работы протокола OpenFlow были использованы две виртуальные машины в программе VirtualBox. Одна запускает эмулированную сеть в Mininet, а другая - контроллер OpenDaylight.

В виртуальной машине Mininet была создана сеть из одного коммутатора Open vSwitch, который поддерживает протокол OpenFlow (ip адрес 192.168.56.101) и трех подключенных к нему хостов под управлением контроллера OpenDaylight (ip адрес 192.168.56.102), в результате ввода команды, приведенной на рисунке 2.

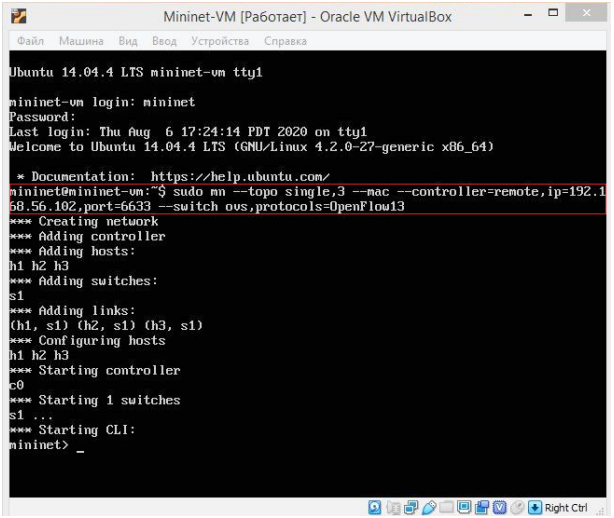


Рисунок 2 – Создание сети

Сгенерированную в Mininet топологию сети можно отобразить в графическом интерфейсе контроллера OpenDaylight (рисунок 3).

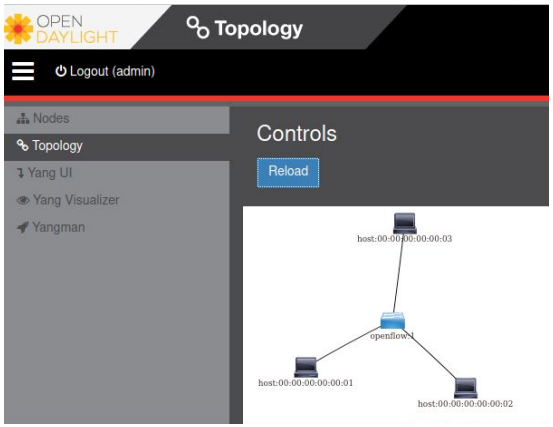


Рисунок 3 – Вкладка Topology в контроллере OpenDaylight

Для исследования процесса обмена трафиком между узлами сети был использован анализатор сетевых пакетов Wireshark. Wireshark позволяет перехватывать и распознавать сообщения протокола OpenFlow. Также сетевой анализатор может определить структуру сообщения и передаваемые в нем данные.

Результаты и обсуждение

На рисунке 4 видно, что первый пойманный пакет – это сообщение HELLO, отправленное от коммутатора (192.168.56.101) к контроллеру (192.168.56.102). Он используется для согласования версии протокола OpenFlow. Это инициализация канала OpenFlow, который является каналом данных для протокола OpenFlow между контроллером и коммутатором.

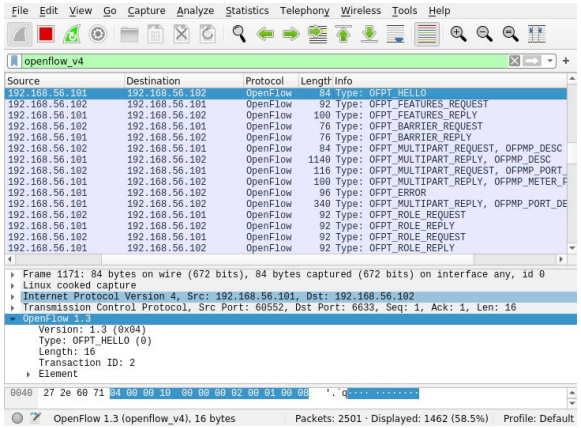


Рисунок 4 – Фильтрация пакетов OpenFlow

Следующее сообщение OFPT_FEATURES_REQUEST – от контроллера к коммутатору. Когда между коммутатором и контроллером устанавливается транспортный канал OpenFlow, первое действие – определение функций коммутатора.

OFPT_FEATURES_REPLY – ответ коммутатора контроллеру с перечислением его возможностей (рисунок 5). Datapath-id – 64-битное поле, которое следует рассматривать как аналог MAC-адреса моста Ethernet-коммутаторов, его уникальный идентификатор для конкретного управляемого конвейера обработки пакетов. Поле n_buffers определяет, сколько пакетов коммутатор может поставить в очередь для действий PacketIn (захват и пересылка на контроллер). Количество таблиц в коммутаторе фиксируется n_tables. Capabilities показывает, какие возможности поддерживаются коммутатором.

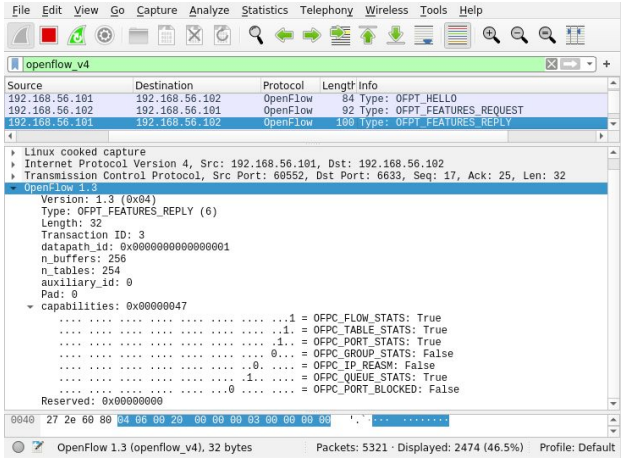


Рисунок 5 – Сообщение OFPT_FEATURES_REPLY

Контроллер может запросить у коммутатора состояние по каналу OpenFlow с помощью сообщения OFPT_MULTIPART_REQUEST. Типы сообщений, обрабатываемые OFPT_MULTIPART_REQUEST, включают различную статистику (FLOW / TABLE / PORT / QUEUE / METER и т.д.) или функции описания (METER_CONFIG / TABLE_FEATURES / PORT_DESC и т.д.).

Сообщение PacketIn - это способ для коммутатора отправить захваченный пакет контроллеру. Это может произойти из-за явного действия в результате совпадения, запрашивающего такое поведение, или из-за пропуска таблицы. Был инициирован пинг с h1 на h2 в mininet (рисунок 6).

```
mininet> h1 ping h2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.489 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.062 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1000ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.062/0.275/0.489/0.214 ms
```

Рисунок 6 – Пинг с h1 на h2

На рисунке 7 показан вывод сообщения PACKET_IN от коммутатора к контроллеру, потому что h1 еще не знает, как добраться до h2. Это сообщение ARP, инкапсулированное OpenFlow через TCP.

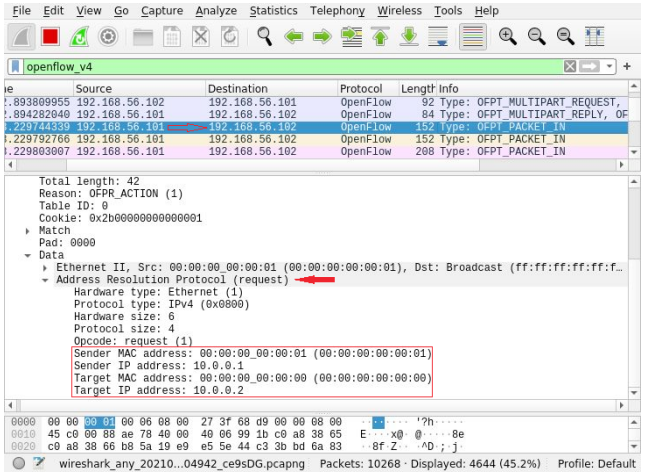


Рисунок 7 – ARP запрос от h1 к h2

Следующий пакет - это ответ ARP от h2 (рисунок 8).

```
Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02), Dst: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:0
Address Resolution Protocol (reply)
    Hardware type: Ethernet (1)
    Protocol type: IPv4 (0x0800)
    Hardware size: 6
    Protocol size: 4
    Opcode: reply (2)
    Sender MAC address: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02)
    Sender IP address: 10.0.0.2
    Target MAC address: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
    Target IP address: 10.0.0.1
```

Рисунок 8 – ARP ответ от h2

За ним следует эхо ICMP (рисунок 9).


```
Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01), Dst: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.1, Dst: 10.0.0.2
Internet Control Message Protocol
   Type: 8 (Echo (ping) request)
   Code: 0
   Checksum: 0x5979 [correct]
   [Checksum Status: Good]
   Identifier (BE): 1656 (0x0678)
   Identifier (LE): 30726 (0x7806)
   Sequence number (BE): 1 (0x0001)
   Sequence number (LE): 256 (0x0100)
   [Response frame: 1490]
   Timestamp from icmp data: Jan 15, 2021 10:59:22.000000000 +06
   [Timestamp from icmp data (relative): -50383.528887194 seconds]
```

Рисунок 9 – ICMP запрос

Эхо ответ приведен на рисунке 10.

```
Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:02 (00:00:00:00:00:02), Dst: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 10.0.0.1
Internet Control Message Protocol
   Type: 0 (Echo (ping) reply)
   Code: 0
   Checksum: 0x6179 [correct]
   [Checksum Status: Good]
   Identifier (BE): 1656 (0x0678)
   Identifier (LE): 30726 (0x7806)
   Sequence number (BE): 1 (0x0001)
   Sequence number (LE): 256 (0x0100)
   [Request frame: 1488]
   [Response time: 1,248 ms]
   Timestamp from icmp data: Jan 15, 2021 10:59:22.000000000 +06
   [Timestamp from icmp data (relative): -50383.527639545 seconds]
```

Рисунок 10 – ICMP ответ

Выводы

В ходе исследования было изучено взаимодействие контроллера и коммутатора по каналу OpenFlow, который является каналом данных для протокола OpenFlow. С помощью Wireshark изучены сообщения протокола OpenFlow, используемые при взаимодействии коммутатора и контроллера.

Преимущества, которые дает концепция SDN – это централизованное управление, мониторинг и сбор статистики в мультивендорной среде, независимость от технологий конкретного производителя, упрощение модернизации и обслуживания сети.

Результаты исследования показали, что использование программно-конфигурируемых сетей с протоколом OpenFlow является современным, актуальным и перспективным решением вопроса об эффективности и производительности существующих сетей.

Список использованных источников

1 **Fei Hu.** Network Innovation through OpenFlow and SDN. Principles and Design [Text]. February 2014. – 520 p.

2 **Thomas, D.** Nadeau and Ken Gray. SDN Software Defined Networks. [Text] September 2013. – 384 p.

3 **Гольдштейн, Б. С., Елагин, В. С., Зарубин, А. А.** Программно-конфигурируемые сети SDN. Протокол OpenFlow. [Text] СПбГУТ, 2018. – 18–20 с.

4 **Siamak Azodolmolky.** Software Defined Networking with OpenFlow. [Text]. October 2013. – 152 p.

5 Спецификация коммутатора OpenFlow – Март 26, 2015. [Электронный ресурс]. https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf. – P. 18–30.

6 Mininet документация. 13 декабрь 2019. [Электронный ресурс]. – http://mininet.org.

7 Сайт проекта OpenDaylight. [Электронный ресурс]. – https://www.opendaylight.org.

References

1 **Fei Hu.** Network Innovation through OpenFlow and SDN. Principles and Design. [Text]. February 2014. – 520 p.

2 **Thomas, D.** Nadeau and Ken Gray. SDN Software Defined Networks. [Text] September 2013. – 384 p.

3 **Goldstein, B. S., Elagin, V. S., Zarubin, A. A.** Programmno-konfiguriruemye seti SDN. Protocol OpenFlow.

4 **Siamak Azodolmolky.** Software Defined Networking with OpenFlow. [Text]. October 2013. – 152 p.

5 Specifikaciya kommutatora OpenFlow – March 26, 2015. [Electronic resource]. – https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf. – P. 18–30.

6 Mininet dokumentaciya. 13 Dec. 2019. [Electronic resource]. – http://mininet.org.

7 Sajt proekta OpenDaylight. [Electronic resource]. – https://www.opendaylight.org.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. В. Бак, Э. М. Лещинская

Бағдарламалық-конфигурацияланатын желілердегі OpenFlow хаттамасы

Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. V. Bak, E. M. Leshchinskaya

OpenFlow protocol in software defined networks

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,
Republic of Kazakhstan, Almaty,.
Material received on 19.03.21.

Бүгінгі күні бағдарламалық-конфигурацияланатын желілердегі желілік құрылғыларды басқаруды жүзеге асыру үшін ең көп таралған шешім болып OpenFlow хаттамасы табылады. OpenFlow – бұл коммутатор мен маршрутизатор сияқты желілік құрылғылардың және бағдарламалық-конфигурацияланатын желіде, бөліп берілген заттай серверде орнатылған, операциялық жүйе болып табылатын орталықтандырылған контроллер арасындағы өзара әрекеттесу хаттамасы. Мұндай басқару желілік құрылғыда жұмыс істейтін, бағдар жасауды, коммутация кестесін жасауды және т.б. жүзеге асыратын функцияны алмастыра немесе толықтыра алады.

Мақалада бағдарламалық-конфигурацияланатын желіні жасау концепциясы қарастырылған, желілік технологиялардың дамуындағы олардың маңыздылығы көрсетілген. SDN желісіндегі OpenFlow хаттамасының жұмысына талдау жасалған. Mininet-те жасалған және OpenDaylight контроллеріне қосылған бағдарламалық-конфигурацияланатын желіні басқару үдерісі көрсетілген. Контроллер мен OpenFlow-коммутатордың өзара әрекеттесуі нәтижесінде берілетін трафик талданды. Трафик алмасу үдерісін зерттеу үшін желі тораптарының арасында Wireshark желілік дестелердің талдағышы қолданылды.

Кілтті сөздер: бағдарламалық-конфигурацияланатын желілер, SDN, OpenFlow хаттамасы, байланыс хаттамалары, желілік дестелердің талдағышы.

Today, the most common solution to control the network devices in software-defined networks is the OpenFlow protocol. OpenFlow is a protocol for communication between network devices such as switches and routers and a centralized controller, which is a network operating system installed on a dedicated physical server in a software-defined network. This control can replace or supplement the function running on the network device for building of routes, creating a switching table, etc.

The article discusses the concept of software-defined networks creation, shows their importance in the development of network technologies. The analysis of the operation of the OpenFlow protocol in the SDN network is

carried out. The process of a software-defined network management created in Mininet and connected to an OpenDaylight controller is presented. The traffic transmitted as a result of interaction between the controller and the OpenFlow switch has been analyzed. To study the process of traffic exchanging between network nodes, the Wireshark network packet analyzer was used.

Keywords: software-defined networks, SDN, OpenFlow protocol, communication protocols, network packet analyzer.

МРНТИ 55.13.17

https://doi.org/10.48081/JQUV1140

***А. А. Барзов[1], А. И. Денчик[2], Ж. К. Мусина[3], А. А. Ткачук[4]**

[1]Московский государственный имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва;

[2,3,4]Торайгыров университет», Республика Казахстан, г. Павлодар

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО РАЗМЕРА ПРИ МНОЖЕСТВЕННОМ ВОЗМУЩЕНИИ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Предложено анализировать точность элементов изделий с учетом масштабного фактора, описываемого соответствующей вероятностной зависимостью. Приведены результаты имитационного моделирования, показывающие потенциальную результативность изучения точности изделий, на основе оценки влияния данного физико-технологического фактора на функциональное качество различных технически объектов.

В работе раскрывается физический смысл коэффициента концентрации случайных факторов ($C_{ср.им}$) который представляет собой среднее число возмущений на единицу длины исполнительного размера за одно испытание при постоянных технико-экономических особенностях данного технологического воздействия. В работе также показано что $C_{ср.им.}$ – характеризует индивидуальность условий формирования всех возможных номиналов исполнительных размеров, с учетом технико-экономических особенностей данного технологического воздействия и что распределение вероятности возмущения исполнительного размера при формировании его точности имеет экспоненциальный характер. Предложен вариант вероятностной математической модели формирования точности исполнительного размера, которая имеет вид $\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_{i.}$ $\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_{i.}$.

Ключевые слова: точность, масштабный фактор, вероятностная модель, имитационное моделирование, физико-технологическое возмущение.

Введение

В основе предлагаемого подхода вероятностного процесса формирования точности исполнительного размера с учетом влияния его величины – масштабного фактора используется понятие функционально значимого технологического возмущения (ФЗТВ) формирования некоторого исполнительного размера, которое приводит к возникновению соответствующей погрешности.

До настоящего времени согласно [2, 4, 5] при вероятностном имитационном моделировании процесса формирования точности исполнительного размера L (ИСПР-L) рассматривалось воздействие только одного возмущающего фактора в пределах одного испытания – реализации.

Материалы и методы

Рассматривая технологическую операцию, условия формирования ИСПР-L, многие ученые отмечают одновременное воздействие нескольких случайных факторов. Поэтому вероятностный подход в сочетании с имитационным моделированием формирования точности ИСПР-L в условиях активного воздействия числа случайных факторов больше одного является актуальным.

Принимая во внимание вышеизложенное, рассмотрим структурную схему имитационного моделирования (рисунок 1), процесса формирования точности исполнительного размера при z > 1, где (z) – максимально-возможное значение одновременных возмущений исполнительного размера (L) в одной из (m_p) реализаций.

Результаты и обсуждение

Имитационное моделирование испытания при множественном возмущении предполагает одновременное возмущение исполнительного размера (L) случайными факторами в пределах от 0 до z, где z – любое целое число. Это достигается генерированием z случайных величин для каждой из m_p запланированных реализаций испытаний. Число реализаций (m_p) определяется из условия стабилизации относительной частоты возмущений исполнительного размера $P(m_i)$, в этом случае общее число испытаний $n_{общ} = z \times m_p n_{общ} = z \times m_p$ (рисунок 2)

$$P(m_i) = \frac{k}{k + mp_i},$$

где m_{pi} – номер текущей реализации;

k – число возмущений за одну реализацию 0 < k ≤ z.

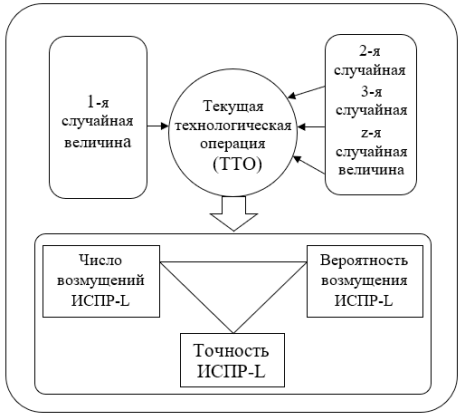


Рисунок 1 – Структурная схема имитационного моделирования при множественном возмущении

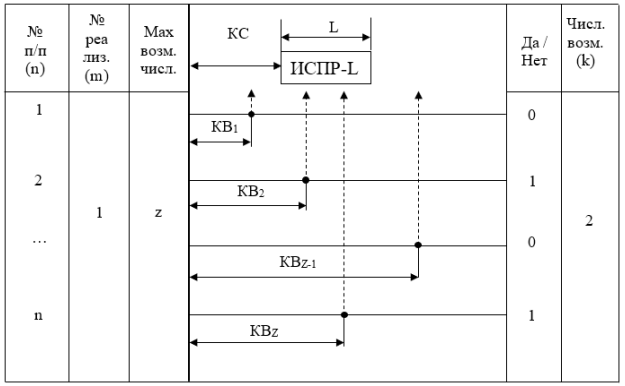


Рисунок 2 – Схема определения множественного возмущения

Определить условия испытания при возможном множественном одновременном возмущении исполнительного размера (L) это значит задать численное значение 1-ой случайной величины и задать значения случайных величин от 2-й до z-й, действующих при выполнении текущей технологической операции (ТТО).

В качестве входных параметров имитационного моделирования в соответствии с принятой схемой схематизации процесса формирования точности ИСПР – L использовались:

– 1-я случайная величина – координата старта КС, случайное число равномерного распределения: 0 < КС < ∞;

– 2-я случайная величина – координата функционально значимого технологического возмущения – КФЗТВ, случайное число равномерного распределения:0 < КФЗТВ < ∞;

– 3-я случайная величина –значение исполнительного размера ИСПР – L, случайное число равномерного распределения:0 < ИСПР – L < 3500.

В качестве выходных параметров моделирования при каждом испытании фиксировался результат испытания: есть возмущение или нет возмущения, соответственно этому, переменной-показателю испытаний (ПИ), присваивалось значение 1 – если «Да», и присваивалось значение 0 – если «Нет»:

если КС < КФЗТВ < ИСПР – L + КС, то «Да»;

если КС < КФЗТВ< ИСПР – L, то «Нет».

По результатам испытаний определялись следующие выходные характеристики вероятностного процесса формирования точности ИСПР – L. Значения характеристик рассчитывались в соответствии с правилами теории вероятностей и математической статистики [1].

– P(L) – вероятность возмущения исполнительного размера ИСПР – L номиналом L в серии испытаний;

$$P(L_i) = \frac{ЧВ_{\sum Li}}{ЧИ_{Li}} = \frac{\sum_{i=1}^{nобщ} ПИ_{Li}}{n_{общ}}$$

– $ЧВ_{текLi}$ – текущее значение суммы одинарных возмущений при i-м испытании ИСПР–L;

– $P_{тек}(Li)$ – текущее значение вероятности возмущения для i-го испытания ИСПР – L;

$$Ртек(L_i) = \frac{\sum_{i=1}^{nтек} ПИ_{Li}}{i}$$

– $ПИ_{Li}ПИ_{Li}$ – показатель испытаний при наличии возмущения равный + 1;

– $ЧВ_{\sum Li}ЧВ_{\sum Li}$ – суммарное число возмущений (ФЗТВ) исполнительного размера за серию испытаний;

– $n_{общ}$ – общее число испытаний в каждой серии;

– $n_{тек\ i}$ – текущее значение номера испытаний;

– $C_{ср.им}$ – средний коэффициент идентичности технологического воздействия (КИТВ) определяемый по результатам имитационного моделирования для нескольких значений ИСПР-Li.

$$C_{ср.им.} = \frac{\sum_{i=1}^{m} C_{L_i}}{m} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{ЧВ_{\sum Li}}{n_{общ} \times L_i}\right) / m$$

$$C_{ср.им.} = \frac{\sum_{i=1}^{m} C_{L_i}}{m} = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{ЧВ_{\sum Li}}{n_{общ} \times L_i}\right) / m$$

где $C_{L_i} C_{L_i}$ – коэффициент идентичности условий технологического возмущения ($КИТВ_{Li}$) при формировании i-го исполнительного размера L_i;

m – число исследуемых исполнительных размеров.

Значение погрешности согласно принятым допущениям исполнительного размера $\delta_{Li}\delta_{Li}$ определялось как произведение единицы точности $\Delta\delta i = C_{ср.им.}$ $C_{ср.им.}$ на число возмущений $(ЧВ_{\sum Li})(ЧВ_{\sum Li})$ исполнительного размера.

$$\delta_{Li} = ЧВ_{\sum Li} \times C_{ср.им.},$$

но

$$P_{Li} = \frac{ЧВ_{\sum Li}}{n_{общ}},$$

следовательно

$$\delta_{Li} = P_{Li} \times n_{общ} \times C_{ср.им.}.$$

А действительный исполнительный размер $(L_{дi})L_{дi})$

$$L_{дi} = L_i \pm \frac{\delta_{Li}}{2} = L_i \pm \frac{P_{Li} \times n_{общ} \times C_{ср.им.}}{2}$$

Учитывая то, что физический смысл Сср.им. представляет собой среднее число возмущений на единицу длины исполнительного размера за

одно испытание, значение коэффициента (Ci) за серию испытаний $n = n_{общ.}$ $n = n_{общ.}$ запишем как

$$C_i = n_{общ} \times C_{ср.им.} n_{общ} \times C_{ср.им.}$$

Следовательно

$$\delta_{Li} = P_{Li} \times C_{i.},$$

а

$$L_{дi} = L_i \pm \frac{\delta_{Li}}{2} = L_i \pm \frac{P_{Li} \times C_{i.}}{2}$$

Ci - с учетом принятых допущений физический смысл $C_i = C_{ср.им} \times n_{общ}$ $C_i = C_{ср.им} \times n_{общ}$ следует трактовать как среднее число возмущений на единицу длины исполнительного размера за весь цикл формирования его точности (за $n_{общ}$) в условиях данного технологического воздействия, следовательно, точность запишем как

$$\delta_{Li} = P_{Li} \times C_{i.} \delta_{Li} = P_{Li} \times C_{i.}; \text{ или } \delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_{i.}$$
$$\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_{i.}$$

Расчётные графические зависимости точности при различных значениях $C_{ср.им.}$ представлены на рисунке 3.

Особенностью определения при имитационном моделировании вероятности возмущения исполнительного размера является необходимость учета неоднократного возмущения при 1 < к < = z. Поэтому текущее значение вероятности $P_{тек}(Li)$, при множественном (1< к <= z) раз возмущении ИСПР – Li, в процессе одной из (m) реализаций будем определять как

$$P_{тек}(L_i) = \frac{k_\Sigma}{(m_p + k_\Sigma)}$$

Имитационное моделирование осуществлялось для максимально-возможного числа возмущений z = 1, z = 7, z = 25, z = 50. Для всех исследуемых значений ИСПР – L общее число испытаний было принято

$n_{общ}$ = 300, т.к. это гарантированно обеспечивает «стабилизацию» текущего значения выходных параметров $P_{тек}(L_i)$ и $ЧВ_{текLi}$ исполнительного размера.

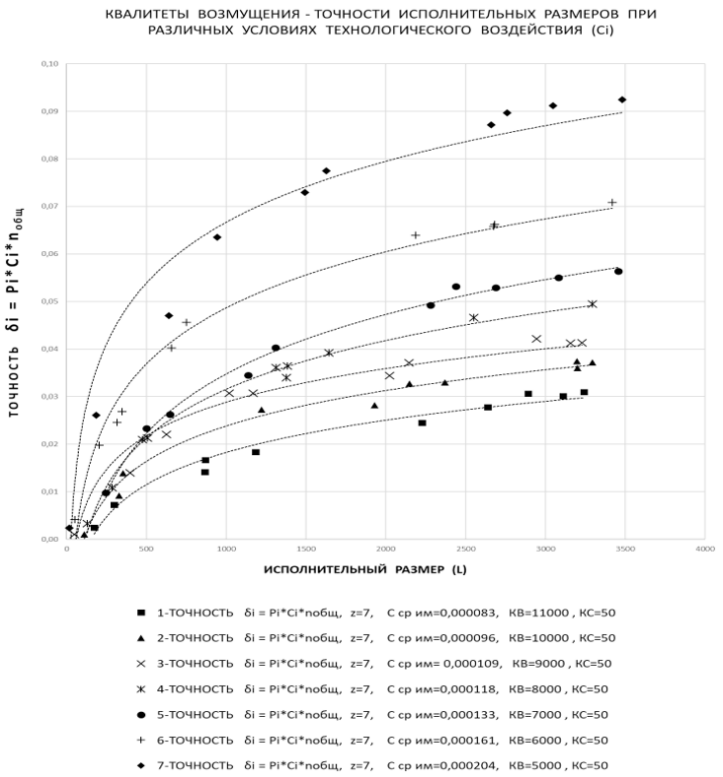


Рисунок 3 – Результаты имитационного моделирования

Исследование влияния масштабного фактора исполнительного размера позволило выявить нелинейный характер зависимости вероятности возмущения от величины исполнительного размера P(L) = f(L). Характер зависимости P(L) = f(L) является устойчивым при различных условиях ИМ. Так исследование зависимости P(L) = f(L) при различном числе максимально-возможных возмущений Z = 1, Z = 7, Z = 25, Z = 50 (рисунок 4) свидетельствует о подобии частных зависимостей и потенциальной возможности идентификации процесса формообразования на основе анализа влияния МФ на выходные параметры обработки.

По результатам ИМ средний коэффициент идентичности условий технологического возмущения – $C_{ср.им}$ определялся как

$$C_{\text{ср.им}} = \frac{\sum_{i=1}^{m} C_{L_i}}{m}$$

Средний коэффициент $C_{\text{ср.им}}$ по своему физическому смыслу является константой условий ИМ или математическим ожиданием возмущения ИСПР-L за одно испытание при ИМ,

Обработка результатов ИМ подтвердила зависимость $C_{\text{ср.им}} C_{\text{ср.им}}$ от условий испытания при ИМ. Так при различном числе максимально-возможных возмущений Z = 7, Z = 25, Z = 50 были соответственно определены значения $C_{\text{ср.им}}$ = 0,009, $C_{\text{ср.им}}$ = 0,0322, $C_{\text{ср.им}}$ = 0,0657.

Последующий корреляционный анализ позволил установить высокий уровень корреляции результатов имитационного моделирования с результатами расчета по экспоненциальной зависимости

Проверка справедливости гипотезы экспоненциального характера аппроксимирующей зависимости P(L) = f(L) показала что положительным результатом следует считать вариант аппроксимации функцией вида

$$y = 1 - e^{(-c \times x)},$$

о чем свидетельствует самый высокий коэффициент корреляции КК = 0,97–0,99 из всех рассмотренных вариантов (таблица 1).

Недостатком аппроксимации функцией вида $y = 1 - K \times e^{(-c \times x)}$ $y = 1 - K \times e^{(-c \times x)}$ следует считать низкую корреляцию результатов аппроксимации и результатов ИМ, КК = 0,74-0,86.

Наряду с рассмотренными анализировался вариант аппроксимации полиномом 3-й степени $y = ax^3 + bx^2 + cx + d\, y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ и экспоненциальной зависимостью $y = 1 - e^{(-c \times x)}, y = 1 - e^{(-c \times x)},$ с последующим определением коэффициента корреляции (КК) результатов аппроксимации и результатов ИМ. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о преимуществе аппроксимацией функцией экспоненциального вида

$$y = 1 - e^{(-c \times x)},$$

так как в этом случае КК = 0, 81-0,94, а в противном случае КК = 0,76–0,89.

Таблица 1 – Результаты аппроксимации

№	ВИД АПРОКСИМИРУЮЩЕЙ Ф-И			КОЭФ. АПРОКС.					
	P(L) = a*L^2 + b*L + d; P(L)=1-K*EXP(-C*L); P(L)=1-EXP(-C*L);		a	b	d	c		КОЭФ. КОРРЕЛЯЦ. С РЕЗУЛЬТ. И М	Z
1	$y = -7E\text{-}07x^2 + 0{,}0014x + 0{,}279$		$-7*10^{-7}$	0,00140	0,279			0,926	7
2	$y = -7E\text{-}07x^2 + 0{,}0013x + 0{,}4515$		$-7*10^{-7}$	0,00130	0,4515			0,838	25
3	$y = -7E\text{-}07x^2 + 0{,}0012x + 0{,}528$		$-7*10^{-7}$	0,00120	0,528			0,693	50
4	$y = 1 - 0{,}5257e^{-0{,}001x}$					0,001		0,864	7
5	$y = 1 - 0{,}3055e^{-0{,}002x}$					0,002		0,829	25
6	$y = 1 - 0{,}2019e^{-0{,}003x}$					0,003		0,741	50
7	P(L)=1-EXP(-0,009*L)					0,009		0,995	7
8	P(L)=1-EXP(-0,032*L)					0,032		0,977	25
9	P(L)=1-EXP(-0,066*L)					0,066		0,992	50

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет констатировать:

– коэффициенты случайных величин КС и КФЗТВ оказывают влияние на характер и вероятность возмущения ИСПР – L при моделировании;

– при изменении величины КС с КС = 20 до КС = 50 и величины КФЗТВ с КФЗТВ = 150 до КФЗТВ = 400 приводит к изменению величины $C_{ср}$ с $C_{ср1}$ = 0,00391 до $C_{ср2}$ = 0,00241;

– коэффициент условий обработки $C_{\text{ср.им}}$ характеризует характер возмущения ИСПР – L и служит показателем, по которому можно идентифицировать процесс формирования точности исполнительного размера.

– высокий уровень корреляции расчётных результатов и результатов имитационного моделирования (К = 0,96 и К = 0,87), свидетельствует о справедливости выдвинутой гипотезы, что распределение вероятности возмущения исполнительного размера при формировании его точности имеет экспоненциальный характер

$$P(L) = 1 - e^{-cL}.$$

Список использованных источников

1 **Гурман, В. Е.** Теория вероятности и математическая статистика [Текст]. – М. : Высшая школа, 1977. – 479 с.

2 **Барзов, А. А., Галиновский, А. Л., Пузаков, В. С., Трощий, О. А.** Вероятностное моделирование в инновационных технологиях [Текст]. – М. : изд-во «НТ», 2006. – 100 с.

3 **Фрейденталь, А. М.** Статистический подход к хрупкому разрушению. Разрушение [Текст] / Под ред. Г. Либовица. – М. : Мир, 1975. – Т. 2. - С. 616–645.

4 **Барзов, А. А.**, **Денчик, А. И.**, **Ткачук, А. А.** Имитационное моделирование процесса вероятностного формирования исполнительного размера [Текст] // Наука и техника Казахстана, 2020. – № 1. – С. 39–47.

5 **Ткачук, А. А., Денчик, А. И., Барзов, А. А.** Вероятностный характер формирования исполнительного размера при механической обработке // Материалы международной научной конференции «XX Сатпаевские чтения», 2020. – Т. 17. – С. 377–384.

6 **Барзов, А. А., Денчик, А. И., Корнеева, В. М., Корнеев, С. С.** Вероятностная модель взаимодействия необходимых и достаточных условий массовой заболеваемости населения с учетом масштабно-популяционного фактора // Качество и жизнь, 2020. – № 3. – С. 19–26.

7 **Абашин, М. И., Барзов, А. А., Денчик, А. И., Мусина, Ж. К.** Анализ инновационного потенциала ультраструйных гидротехнологий [Текст] // Наука и техника Казахстана, 2016. – № 3–4. – С. 7–15.

8 **Barzov, A. A., Belov, V. A., Denchik, A. I.** Information analysis of combined ultra-jet express diagnostics of materials and products of RST (rocket & space technology) [Text] // 43rd Academic Space Conference : Dedicated to the Memory of Academician S.P. Korolev and other Outstanding Russian Scientists – Pioneers of Space Exploration «Korolev Academic Space Conference», Bauman Moscow State Technical University. – AIP Conference Proceedings, Volume 2171, 15 November 2019, *номер статьи* 170014, *код* 154643.

9 **Дудак, Н. С., Итыбаева, Г. Т., Мусина, Ж. К., Касенов, А. Ж.** Методика планирования экспериментальных исследований при обработке новыми стержневыми инструментами [Текст] // Вестник Пермского университета. История, 2007. – № 4. – С. 154.

10 **Тарасик, В. П.** Математическое моделирование технических систем : учебник для вузов [Текст] / изд. 2-е дополн. и перераб. – Мн. : Изд-во «Дизайн ПРО», 2004. – 640 с.

11 **Дерябин, И. П., Козлов, А. В.** Математическое моделирование процессов в машиностроении: учебное пособие по выполнению лабораторных работ [Текст]. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 27 с.

References

1 **Gurman, V. E.** Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika. [Probability theory and mathematical statistics] [Text]. – M. : Vy`sshaya shkola, 1977. – 479 p.

2 **Barzov, A. A., Galinovskij, A. L., Puzakov, V. S., Troshhij, O. A.** Veroyatnostnoe modelirovanie v innovacionnyx texnologiyax. [Probabilistic modeling in innovative technologies] [Text] – M. : «NT» Publishing house, 2006. – 100 p.

3 **Frejdental`, A. M.** Statisticheskij podxod k xrupkomu razrusheniyu. Razrushenie [Statistical approach to brittle fracture. Destruction] [Text] / Ed. G. Libovicza. – M. : Mir, 1975. – Vol. 2. – P. 616–645.

4 **Barzov, A. A., Denchik, A. I., Tkachuk, A. A.** Imitacionnoe modelirovanie processa veroyatnostnogo formirovaniya ispolnitel'nogo razmera [Simulation of the process of probabilistic formation of the executive size] [Text] // In Science and Technology of Kazakhstan, 2020. – № 1. – P. 39–47.

5 **Tkachuk, A. A., Denchik, A. I., Barzov, A. A.** Veroyatnostnyj xarakter formirovaniya ispolnitel'nogo razmera pri mexanicheskoj obrabotke [The probabilistic nature of the formation of the executive size during machining] [Text] // In Materials of the international scientific conference «XX Satpayev Readings», 2020. – Vol. 17. – P. 377–384.

6 **Barzov, A. A., Denchik, A. I., Korneeva, V. M., Korneev, S. S.** Veroyatnostnaya model' vzaimodejstviya neobxodimyx i dostatochnyx uslovij massovoj zabolevaemosti naseleniya s uchetom masshtabno-populyacionnogo faktora [Probabilistic model of interaction of necessary and sufficient conditions for mass morbidity of the population, considering the scale-population factor] [Text] // In Quality and life, 2020. – № 3. – P. 19–26.

7 **Abashin, M. I., Barzov, A. A., Denchik, A. I., Musina, Zh. K**. Analiz innovacionnogo potenciala ul'trastrujnyx gidrotexnologij [Analysis of the innovation potential of ultra-hydraulic technologies] [Text] // In Science and Technology of Kazakhstan, 2016. – № 3–4. – P. 7–15.

8 **Barzov, A. A., Belov, V. A., Denchik, A. I.** Information analysis of combined ultra-jet express diagnostics of materials and products of RST (rocket & space technology) // 43rd Academic Space Conference : Dedicated to the Memory of Academician S.P. Korolev and other Outstanding Russian Scientists – Pioneers of Space Exploration «Korolev Academic Space Conference», Bauman Moscow State Technical University. – AIP Conference Proceedings, 2019. – Vol. 2171. – Article number 170014. – Code 154643.

9 **Dudak, N. S., Itybaeva, G. T., Musina, Zh. K., Kasenov, A.,Zh.** Metodika planirovaniya e'ksperimental'nyx issledovanij pri obrabotke novymi sterzhnevymi instrumentami [Methodology for planning experimental studies when processing new rod tools] [Text] // In Perm University Bulletin. History, 2007. – № 4. – P. 154.

10 **Tarasik, V. P.** Matematicheskoe modelirovanie texnicheskix sistem : uchebnik dlya vuzov [Mathematical modeling of technical systems: a textbook for universities] [Text]. – Mn. : «Dizajn PRO» publishing house, 2004. – 640 p.

11 **Deryabin, I. P., Kozlov, A. V.** Matematicheskoe modelirovanie processov v mashinostroenii: uchebnoe posobie po vypolneniyu laboratornyx rabot [Mathematical modeling of processes in mechanical engineering: a tutorial for laboratory work] [Text]. – Chelyabinsk : YuUrGU publishing house, 2003. – 27 p.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. А. Барзов[1], А. И. Денчик[2], Ж. К. Мусина[3], А. А. Ткачук[4]

Механикалық өңдеу процесінің бірнеше бұзылуы кезінде атқарушы өлшемнің дәлдігін қалыптастыруды модельдеудің ықтималды моделі

[1]М. В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті,
Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.;
[2,3,4]Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. A. Barzov[1], A. I. Denchik[2], Zk. K. Mussina[3], A. A. Tlachuk[4]

Probability model of imitation modeling of formation of accuracy of executive dimension with multiple disturbances of the mechanical process

[1]Lomonosov Moscow State University,
Russian Federation, Moscow;
[2,3,4]Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 19.03.21.

Тиісті ықтималдық тәуелділікте сипатталған масштабты факторды ескере отырып, өнім элементтерінің дәлдігін талдау ұсынылады. Берілген физика-технологиялық фактордың әртүрлі техникалық объектілердің функционалды сапасына әсерін бағалау негізінде өнімнің дәлдігін зерттеудің ықтимал тиімділігін көрсететін модельдеу нәтижелері келтірілген.

Жұмыста кездейсоқ факторлардың шоғырлану коэффициентінің физикалық мәні ашылады ($C_{ср.им}$) бұл осы технологиялық әсердің тұрақты техникалық-экономикалық ерекшеліктері кезінде бір сынау үшін атқарушылық өлшемнің ұзындығы бірлігіне бұзылулардың орташа санын білдіреді. Бұл жұмыста $C_{ср.им}$ да көрсетілген. оларға. -осы технологиялық әсердің техникалық-экономикалық ерекшеліктерін ескере отырып, атқарушы өлшемдердің барлық мүмкін номиналдарын қалыптастыру жағдайларының даралығын сипаттайды және оның дәлдігін қалыптастыру кезінде атқарушы мөлшердің бұзылу ықтималдығын бөлу экспоненциалды сипатқа ие. Атқарушы өлшемнің дәлдігін қалыптастырудың ықтималды математикалық моделінің нұсқасы ұсынылған, ол келесідей $\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_i$.$\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_i$.

Кілтті сөздер: дәлдік, масштабты фактор, ықтималдық моделі, имитациялық модельдеу, физика-технологиялық бұзылыс.

It is proposed to analyze the accuracy of product elements considering the scale factor described by the corresponding probabilistic dependence. The results of simulation are presented, showing the potential effectiveness of studying the accuracy of products, based on an assessment of the influence of this physical and technological factor on the functional quality of various technical objects.

The paper reveals the physical meaning of the coefficient of concentration of random factors ($C_{ср.им}$), which is the average number of perturbations per unit length of the executive size per test with constant technical and economic features of this technological impact. The paper also shows that the $C_{ср.им}$ – characterizes the individuality of the conditions for the formation of all possible denominations of executive sizes, considering the technical and economic features of this technological impact, and that the probability distribution of perturbation of the executive size in the formation of its accuracy is exponential. A variant of the probabilistic mathematical model of the formation of the accuracy of the executive size is proposed, which has the form $\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_i$. $\delta_{Li} = (1 - e^{-Ci \times Li}) \times C_i$.

Keywords: accuracy, scale factor, probabilistic model, simulation, physical and technological disturbance.

МРНТИ 50.03.03

https://doi.org/10.48081/FBHZ4865

М. А. Бейсенби, А. Темирбек, А. А. Маймурынова
Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

СИНТЕЗ АДАПТЕРА ДЛЯ ОБЪЕКТА С ОДНИМ ВХОДОМ И ОДНИМ ВЫХОДОМ ГРАДИЕНТНО-СКОРОСТНЫМ МЕТОДОМ ВЕКТОР-ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА

В данной статье предлагается для решения задачи синтеза настраиваемого регулятора контура адаптации (адаптера) системы управления, градиентно-скоростным методом вектор-функции Ляпунова. Синтез адаптивных систем управления неразрывно связан с обеспечением устойчивости замкнутого объекта с контуром адаптации. Представление обобщенного настраиваемого объекта и контура адаптации, как градиентные системы, а функций Ляпунова, как потенциальные функций позволяет применить градиентно-скоростной метод вектор-функции Ляпунова для исследования устойчивости, робастности и качества работы обобщенного настраиваемого объекта и контура адаптации. Апериодическая робастная устойчивость обобщенного настраиваемого объекта и основного контура адаптации системы управления гарантирует робастной устойчивости и качества системы управления.

Ключевые слова: адаптивная система управления, градиентно-скоростной метод вектор-функции Ляпунова.

Введение

Методы адаптивного управления [1, 2, 3, 4, 5, 6] служат для построения систем управления при значительной неопределенности параметров объекта управления, особенно условий его функционирования (характеристик среды), имеющейся на стадии проектирования или в процессе эксплуатаций системы. Рассматриваются такие задачи управления, при которых динамические свойства объекта могут изменяться в широких пределах неизвестным заранее образом. Имеющейся априорной информации недостаточно для построения систем

управления с заданными показателями качества. В адаптивных системах управления недостаток априорной информации восполняются в процессе ее функционирования на основе текущих данных о поведении объекта. Эти данные обрабатывается в реальном масштабе времени (в темпе протекания управляемого процесса) и используются для повышения качества системы.

Процесс адаптивного управления можно рассматривать как процесс взаимодействия трех подсистем [1, 2, 3, 6]: объекта, настраиваемого регулятора основного контура (собственно регулятора), блока адаптации (адаптера). Два последних блока объединяются в адаптивный регулятор, который имеет двухуровневую иерархическую структуру. Регулятор основного контура непосредственно формирует управляющее воздействие u(t), поступающее на регулирующий орган объекта управления. Закон (алгоритм) управления в основном контуре зависит от некоторого набора настраиваемых параметров. Настройка этих параметров производится на втором уровне. В соответствии с некоторым законом, называемым алгоритмом адаптации на основе доступной текущей информации. Задача алгоритма адаптации состоит в настройке коэффициентов регулятора таким образом, чтобы свести рассогласование между объектом управления и эталонной моделью к нулю. Это может быть достигнуто при асимптотической робастной устойчивости системы с требуемой динамикой. При этом основной проблемой исследования является отсутствие универсальных методов построения функций Ляпунова [1, 3, 4] для исследования адаптивных систем управления. В настоящее время этот метод является в основном инструментом для теоретических исследований и не может дать ответы на все вопросы касающиеся устойчивости и качества работы адаптивных регуляторов в реальных условиях. Поэтому предлагается для исследования адаптивных систем управления новый градиентно-скоростной метод вектор функции Ляпунова [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Где система управления рассматривается как градиентные системы и функция Ляпунова, как потенциальные функций из теории катастроф [13, 14]. Условия градиентности позволяет однозначно построить функцию Ляпунова и условие существования функции Ляпунова соответствует условию асимптотической робастной устойчивости системы управления с требуемой динамикой [9, 10, 11]. Это также обеспечивает достижение основной цели управления.

Статья посвящена решению задачи синтеза настраиваемого регулятора основного контура адаптации (адаптера) системы управления градиентно-скоростным методом вектор функции Ляпунова.

Материалы и методы

Адаптивные системы управления отличаются от традиционных (неадаптивных) систем управления наличием контура адаптации, то для

формулировки задачи синтеза алгоритма адаптации удобно использовать понятие «обобщенного настраиваемого объекта» (ОНО) [1]. Обобщенный настраиваемый объект включает в себя всю неизменяемую часть системы («обобщенный объект» и регулятор основного контура). В качестве входов ОНО выступает настраиваемые параметры регулятора k^x, так и входы обобщенного объекта u^r.

Структура ОНО показана на рис.1

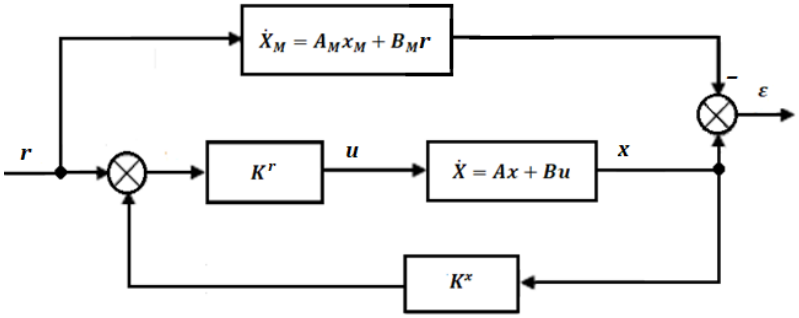


Рисунок 1 – Структурная схема обобщенного настраиваемого объекта

ОНО описывается в отклонениях векторно-матричным уравнением

$$\dot{\varepsilon} = A_M\varepsilon + (A - A_M)x + Bu - B_M r, \qquad (1)$$

где $x(t) \in R^n$ – вектор состояния объекта управления; $\varepsilon(t) \in R^n$ – вектор отклонений $\varepsilon(t) = x(t) - x_M(t)$, $x_M(t) \in R^n$, – вектор состояния эталонной модели, $r(t) \in R^m$ – вектор задающих (внешних) воздействий

$$A = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \cdots & -a_1 \end{Vmatrix}, \quad B = \begin{Vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ b_n \end{Vmatrix},$$

$$A_M = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -d_n & -d_{n-1} & -d_{n-2} & \cdots & -d_1 \end{Vmatrix}, \quad B_M = \begin{Vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ b_{Mn} \end{Vmatrix}.$$

Закон управления выбирается в виде

$$u(t) = k^r k^x x(t) + k^r r(t), \qquad (2)$$

Тогда с учетом закона управления (2) и уравнения (1) преобразуется к виду

$$\dot{\varepsilon} = A_M\varepsilon + (A - A_M)x + Bk^r k^r x + Bk^r r - B_M r, \qquad (3)$$

Из (3) находим

$$(Bk^r - B_M)r = 0,\ k^r = B^{-1}B_M, B^{-1} = \frac{1}{b_n}, B_M = b_{Mn}, k^r = \frac{b_{Mn}}{b_n}, \qquad (4)$$

и уравнения (3) преобразуется к виду

$$\dot{\varepsilon} = A_M\varepsilon + (A - A_M)x + b_M k^x x, \qquad (5)$$

Уравнения состояния системы с учетом (2) и (4) преобразуем к виду

$$\dot{x} = Ax + b_M k^x x \qquad (6)$$

Цель управления $(\varepsilon(t) = 0)$ достигается при апериодической робастной устойчивости объединенной системы (5) и (6):

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + b_M k^x x \\ \dot{\varepsilon} = A_M\varepsilon + (A - A_M)x + b_M k^x x \end{cases} \qquad (7)$$

где $k^x = \|k_1,\ k_2,\ \ldots, k_n\|$,

$$b_M k^x = b_{Mn}k_1x_1 + b_{Mn}k_2x_2 + b_{Mn}k_3x_3 +, \ldots, +b_{Mn}k_nx_n.$$

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + b_M k^x x \\ \dot{\varepsilon} = A_M\varepsilon + (A - A_M)x + b_M k^x x \end{cases}$$

Систему (7) представим развернутой форме и исследуем апериодической робастной устойчивости системы (7) градиентно-скоростным методом вектор-функций Ляпунова [7].

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \quad \vdots \\ \dot{x}_{n-1} = x_n \\ \dot{x}_n = -(a_n - b_{Mn}k_1)x_1 - (a_{n-1} - b_{Mn}k_2)x_2 -, \dots, -(a_1 - b_{Mn}k_n)x_n \\ \dot{\varepsilon}_1 = \varepsilon_2 \\ \dot{\varepsilon}_2 = \varepsilon_3 \\ \quad \vdots \\ \dot{\varepsilon}_{n-1} = \varepsilon_n \\ \dot{\varepsilon}_n = -(a_n - d_n^M - b_{Mn}k_1)x_1 - (a_{n-1} - d_{n-1}^M - b_{Mn}k_2)x_2 -, \dots, - \\ \qquad -(a_1 - d_1 - b_{Mn}k_n)x_n - d_n^M\varepsilon_1 - d_{n-1}^M\varepsilon_2 -, \dots, -d_1^M\varepsilon_n \end{cases} \quad (8)$$

Исследуем апериодической робастной устойчивости системы (8). Из (8) определяем компонентов вектора градиента от вектор-функции Ляпунова $V(x,\varepsilon) = (V_1(x), \dots, V_n(x), V_{n+1}(x,\varepsilon), \dots, V_{2n}(x,\varepsilon))$:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial V_1(x)}{\partial x_2} = -x_2, \dfrac{\partial V_2(x)}{\partial x_3} = -x_3, \dots, \dfrac{\partial V_{n-1}(x)}{\partial x_n} = -x_n \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dfrac{\partial V_n(x)}{\partial x_1} = (a_n - b_{Mn}k_1)x_1, \ \dfrac{\partial V_n(x)}{\partial x_2} = (a_{n-1} - b_{Mn}k_2)x_2, \dots \\ \dots, \dfrac{\partial V_n(x)}{\partial x_n} = (a_1 - b_{Mn}k_n)x_n; \\ \dfrac{\partial V_{n+1}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2} = -\varepsilon_2, \dfrac{\partial V_{n+2}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_3} = -\varepsilon_3, \dots, \dfrac{\partial V_{2n-1}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_n} = -\varepsilon_n \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dfrac{\partial V_{2n}(x,\varepsilon)}{\partial x_1} = (a_n - d_n^M - b_{Mn}k_1)x_1, \dfrac{\partial V_{2n}(x,\varepsilon)}{\partial x_2} = (a_{n-1} - d_{n-1}^M - b_{Mn}k_2)x_2, \\ \dots, \dfrac{\partial V_{2n}(x,\varepsilon)}{\partial x_n} = (a_1 - d_1^M - b_{Mn}k_n)x_n; \\ \dfrac{\partial V_{2n}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} = d_n^M\varepsilon_1, \dfrac{\partial V_{2n}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2} = d_{n-1}^M\varepsilon_2, \dots, \dfrac{\partial V_{2n}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_n} = d_1^M\varepsilon_n \end{cases} \quad (9)$$

Из (8) определяем разложение компонентов вектора скоростей по координатам $(x_1, \cdots, x_n; \varepsilon_1, \cdots, \varepsilon_n)$:

$$\begin{cases} \left(\dfrac{dx_1}{dt}\right)_{x_2} = x_2, \left(\dfrac{dx_2}{dt}\right)_{x_3} = x_3, \dots, \left(\dfrac{dx_{n-1}}{dt}\right)_{x_n} = x_n \\ \left(\dfrac{dx_n}{dt}\right)_{x_1} = -(a_n - b_{Mn}k_1)x_1, \left(\dfrac{dx_n}{dt}\right)_{x_2} = -(a_{n-1} - b_{Mn}k_2)x_2, \dots \\ \dots, \left(\dfrac{dx_n}{dt}\right)_{x_n} = -(a_1 - b_{Mn}k_n)x_n; \\ \left(\dfrac{d\varepsilon_1}{dt}\right)_{\varepsilon_2} = \varepsilon_2, \left(\dfrac{d\varepsilon_2}{dt}\right)_{\varepsilon_3} = \varepsilon_3, \dots, \left(\dfrac{d\varepsilon_{n-1}}{dt}\right)_{\varepsilon_n} = \varepsilon_n \\ \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{x_1} = -(a_n - d_n^M - b_{Mn}k_1)x_1, \ \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{x_2} = -(a_{n-1} - d_{n-1}^M - b_{Mn}k_2)x_2, \\ \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{x_3} = -(a_{n-2} - d_{n-2}^M - b_{Mn}k_3)x_3, \dots, \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{x_n} = -(a_1 - d_1^M - b_{Mn}k_n)x_n; \\ \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{\varepsilon_1} = -d_n^M\varepsilon_1, \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{\varepsilon_2} = -d_{n-1}^M\varepsilon_2, \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{\varepsilon_3} = -d_{n-2}^M\varepsilon_3, \dots, \left(\dfrac{d\varepsilon_n}{dt}\right)_{\varepsilon_n} = -d_1\varepsilon_n \end{cases} \quad (10)$$

Полная производная по времени от вектор-функции Ляпунова определяется как скалярное произведение вектора градиента (9) на вектор скорости (10).

$$\begin{cases} \dfrac{dV(x,\varepsilon)}{dt} = -x_2^2 - x_3^2 -, \dots, -x_n^2 - (a_n - b_{Mn}k_1)^2x_1^2 - (a_{n-1} - b_{Mn}k_2)^2x_2^2 - \\ -, \dots, -(a_1 - b_{Mn}k_n)^2x_n^2 - \varepsilon_2^2 - \varepsilon_3^2 -, \dots, -\varepsilon_n^2 - (d_n^M\varepsilon_1^2)^2 - (d_{n-1}^M\varepsilon_2^2)^2 - \\ -, \dots, -(d_1^M\varepsilon_n^2)^2 - (a_n - d_n^M - b_{Mn}k_1)^2x_1^2 - \\ -(a_{n-1} - d_{n-1}^M - b_{Mn}k_2)^2x_2^2 -, \dots, -(a_1 - d_n^M - b_{Mn}k_n)^2x_n^2, \end{cases} \quad (11)$$

Полная производная по времени от вектор-функции Ляпунова (11) является гарантированно знакоотрицательной функцией т.е. достаточное условие асимптотической устойчивости всегда будет выполняться.

Функцию Ляпунова в скалярной форме из (9) получим в виде:

$$\begin{cases} V(x,\varepsilon) = \left(a_n - b_{Mn}k_1 - \dfrac{1}{2}d_n^M\right)x_1^2 + \left(a_{n-1} - b_{Mn}k_2 - \dfrac{1}{2}d_{n-1}^M - \dfrac{1}{2}\right)x_2^2 + \\ +, \dots, +\left(a_1 - b_{Mn}k_n - \dfrac{1}{2}d_1^M - \dfrac{1}{2}\right)x_n^2 + \dfrac{1}{2}d_n^M\varepsilon_1^2 + \dfrac{1}{2}(d_{n-1}^M - 1)\varepsilon_2^2 + \\ +, \dots, +\dfrac{1}{2}(d_1^M - 1)\varepsilon_n^2 \end{cases} \quad (12)$$

Положительная определенность функции Ляпунова определяется из (12) системой неравенств:

$$\begin{cases} a_n - b_{Mn}k_1 - \frac{1}{2}d_n^M \geq 0 \\ a_{n-1} - b_{Mn}k_2 - \frac{1}{2}d_{n-1}^M - 1 \geq 0 \\ \cdots \quad \cdots \quad \cdots \\ a_1 - b_{Mn}k_n - \frac{1}{2}d_1^M - 1 \geq 0 \\ d_n^M > 0,\ d_{n-1}^M - 1 > 0,\ d_{n-2}^M - 1 > 0, \ldots, d_1^M - 1 > 0 \end{cases} \quad (13)$$

Из этой системы (13) можем определить настраиваемые коэффициенты $k_i (i = 1, \ldots, n)$

$$\begin{cases} k_1 = \frac{1}{b_{Mn}}\left(a_n - \frac{1}{2}d_n^M\right), \quad d_n^M > 0 \\ k_2 = \frac{1}{b_{Mn}}\left(a_{n-1} - \frac{1}{2}d_{n-1}^M - 1\right), \quad d_{n-1}^M - 1 > 0 \\ k_3 = \frac{1}{b_{Mn}}\left(a_{n-2} - \frac{1}{2}d_{n-2}^M - 1\right), \quad d_{n-2}^M - 1 > 0 \\ \cdots \quad \cdots \quad \cdots \\ k_n = \frac{1}{b_{Mn}}\left(a_1 - \frac{1}{2}d_1^M - 1\right), \quad d_1^M - 1 > 0 \end{cases} \quad (14)$$

Результаты и обсуждение

Таким образом, система (1) и (8) апериодический робастно устойчива в силу (14) и цель управления $\varepsilon(t) \to 0$, при $t \to \infty$ достигается. Задача синтеза адаптивной системы управления приводится к конструированию структуры основного контура, обеспечивающего приведения описания ОНО к виду (8) и исследованию апериодической робастной устойчивости градиентно-скоростным методом вектор функций Ляпунова и использованию для настройки параметров регулятора (или самого объекта управления) алгоритма (14). При этом элементы матрицы (параметры объекта управления) измеряемые или вычисляемые на основе измерений.

Выводы

Синтез адаптивных систем управления неразрывно связан с обеспечением устойчивости замкнутого объекта с контуром адаптации. Метод функции Ляпунова является одним из основных методов исследования устойчивости и качества движения линейных и нелинейных систем. Но в связи отсутствием универсальных подходов к построению функций Ляпунова, метод ограниченно применяется для исследования адаптивных систем управления. В настоящее время этот метод является в основном инструментом для теоретических исследований и не может дать ответы на все вопросы касающиеся устойчивости и качества работы адаптивных регуляторов в реальных условиях.

Представление обобщенного настраиваемого объекта и контура адаптации, как градиентные системы, а функций Ляпунова, как потенциальные функций позволяет применить градиентно-скоростной метод вектор-функции Ляпунова для исследования устойчивости, робастности и качества работы обобщенного настраиваемого объекта и контура адаптации. Где из условий апериодической робастной устойчивости обобщенного настраиваемого объекта т.е. контур адаптации системы управления при измеряемых и вычисляемых значениях параметров объекта управления вычисляется по алгоритму адаптации соответствующие коэффициенты обратной связи контура адаптации системы управления.

Список использованных источников

1 Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт. Т5: Методы современной теории автоматического управления/ под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М. : изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 784 с.

2 **Петров, Б. Н., Рутковский, В. Ю., Крутова, И. Н., Земляков, С. Д.** Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления. – М. : Машиностроение, 1972. – 260 с.

3 **Андриевский, Б. Р., Фрадков, А. Л.** Избранные главы теории автоматического управления. Гл.13, Управление нелинейными колебательными и хаотическими системами. Спб. : Наука, 1999.

4 **Fradkov, A. L.** Adaptivnoe upravlenie v slozhnyh sistemah. – M. : Nauka, 1990. – 292 p.

5 **Nazenda, K. S., Volavani, L. S.** A comparison of Lyapunov and hyperstability approaches to adaptive control of continuous systems // IEEE Trans. Automot. Confr. – 1980. – Vol. AC-25. – № 2. – p. 243–247.

6 **Козлов, Ю. М., Юсупов, Р. М.** Беспоисковые самонастраивающиеся системы. – М. : Наука, 1969. – 456 с.

7 **Бейсенби, М. А.** Исследование робастной устойчивости систем автоматического управления методом функции А. М. Ляпунова. – Астана, 2015. – 204 с.

8 **Beisenbi, M. A., Basheyeva, Zh. O**. Solving output control problems using Lyapunov gradient-velocity vector function. International Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume 9, Issue 4, 2019. – P. 2874–2879.

9 **Beisenbi, M., Kaliyeva, S.** The solution to the problem of synthesis of control of multidimensional objects. International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019 November 2019, Номер статьи 90120642019 International Conference on

Information Science and Communications Technologies, ICISCT 2019; Tashkent; Uzbekistan; 4 November 2019 до 6 November 2019.

10 **Beisenbi, M., Sagymbay, A., Satybaldina, D., Kissikova, N.** Velocity gradient method of Lyapunov vector functions. ACM International Conference Proceeding Series 10 January 2019, Pages 88–925th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies, ICSLT 2019; Vienna; Austria.

11 **Beisenbi, M., Kaliyeva, S.** Synthesis of the control systems by the state of an object with input and single output by a gradientvelocity method of A.M. Lyapunov vector functions. International Journal of Civil Engineering and Technology Volume 9, Issue 10, October 2018, P. 2080–2086.

12 **Mamyrbek, B., Aliya, S., Gulzhan, U., Janar, Y**. Robust stability of spacecraft traffic control system using lyapunov functions. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Volume 88, Issue 2, 20 June 2016, P. 252–261.

13 Гилмор **Р**. Прикладная теория катастроф. В 2-томах. Т.1. – М. : Мир, 1984.

14 Постон **Т., Стюарт И.** Теория катастроф и ее приложения. – М. : Наука, 2001.

References

1 Metody klassicheskoj i sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravlenija: Uchebnik v 5-i tt. T5: Metody sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravlenija/ pod red. K.A. Pupkova, N.D. Egupova [Methods of classical and modern theory of automatic control: Textbook in 5 vols. vol.5: Methods of modern theory of automatic control]. – M. : izd-vo MGTU im. N.`E. Baumana, 2004. – 784 p.

2 **Petrov, B. N., Rutkovskij, V. Ju., Krutova, I. N., Zemljakov, S. D.** Printsipy postroenija i proektirovanija samonastraivajuschihsja sistem upravlenija [Principles of construction and design of self-adjusting control systems]. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 260 p.

3 **Andrievskij, B. R., Fradkov, A. L.** Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravlenija. Gl.13, Upravlenie nelinejnymi kolebatel'nymi i haoticheskimi sistemami [Selected chapters of automatic control theory. Chapter.13, Control with nonlinear oscillatory and chaotic systems]. Spb. : Nauka, 1999.

4 **Fradkov, A. L.** Adaptive control in complex systems [Adaptive control in complex system]. – M. : Science, 1990. – 292 p.

5 **Nazenda, K. S., Volavani, L. S.** A comparison of Lyapunov and hyperstability approaches to adaptive control of continuous systems // IEEE Trans. Automot. Confr. – 1980. – Vol. AC-25. – № 2. – p. 243–247.

6 **Kozlov Ju.M., Jusupov R.M.** Bespoiskovye samonastraivajuschiesja sistemy [Searchless self-tuning systems]. – M. : Nauka, 1969. – 456 p.

7 **Bejsenbi, M. A.** Issledovanie robastnoj ustojchivosti sistem avtomaticheskogo upravlenija metodom funktsii A. M. Ljapunova [Investigation of the robust stability of automatic control system by the function method A. M. Lyapunov]. – Astana, 2015. – 204 p.

8 **Beisenbi, M. A., Basheyeva, Zh. O**. Solving output control problems using Lyapunov gradient-velocity vector function. International Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume 9, Issue 4, 2019. – P. 2874–2879.

9 **Beisenbi, M., Kaliyeva, S.** The solution to the problem of synthesis of control of multidimensional objects. International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019 November 2019, Номер статьи 90120642019 International Conference on Information Science and Communications Technologies, ICISCT 2019; Tashkent; Uzbekistan; 4 November 2019 до 6 November 2019.

10 **Beisenbi, M., Sagymbay, A., Satybaldina, D., Kissikova, N.** Velocity gradient method of Lyapunov vector functions. ACM International Conference Proceeding Series 10 January 2019, Pages 88–925th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies, ICSLT 2019; Vienna; Austria.

11 **Beisenbi, M., Kaliyeva, S.** Synthesis of the control systems by the state of an object with input and single output by a gradientvelocity method of A.M. Lyapunov vector functions. International Journal of Civil Engineering and Technology Volume 9, Issue 10, October 2018, P. 2080–2086.

12 **Mamyrbek, B., Aliya, S., Gulzhan, U., Janar, Y**. Robust stability of spacecraft traffic control system using lyapunov functions. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Volume 88, Issue 2, 20 June 2016, P. 252–261.

13 **Gilmor, R.** Prikladnaja teorija katastrof. V 2-tomah. T.1 [Applied Catastrophe Theory, in 2 vol. vol. 1]. – M. : Mir, 1984.

14 **Poston, T., Stjuart, I.** Teorija katastrof i ee prilozhenija [The theory of catastrophes and its applications]. – M. : Nauka, 2001.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

М. Ә. Бейсенбі, А. Темирбек, А. А. Маймұрынова

Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен бір кірісі және бір шығысы бар объект үшін адаптерді синтездеу

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

M. A. Beisenbi, A. Temirbek, A. A. Maimurynova

Synthesis of an adapter for an object with one input and one output by the gradient-velocity method of the Lyapunov vector function

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 19.03.21.

Мақалада Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен басқару жүйесінің адаптация тізбегінің бапталатын регуляторын синтездеу мәселесін шешу ұсынылады. Адаптивті басқару жүйелерінің синтезі адаптация тізбегімен тұйық объектінің орнықтылығын қамтамасыз етумен тығыз байланысты. Жалпыланған бапталатын объект және адаптация тізбегін градиент жүйелері ретінде, ал Ляпунов функцияларын потенциалды функциялар ретінде ұсыну жалпыланған бапталатын объектінің және адаптация тізбегінің орнықтылығын, робасттылығын және жұмыс сапасын зерттеу үшін Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілін қолдануға мүмкіндік береді. Басқару жүйесінің адаптация тізбегінің және жалпыланған бапталатын объектінің апериодтық, робасты орнықтылығы робасты орнықтылығы және сапасына кепілдік береді.

Кілтті сөздер: адаптивті басқару жүйесі, Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілі.

In this article, we propose to solve the problem of synthesis of a tunable controller of the adaptation contour (adapter) of the control system, using the gradient-velocity method of the Lyapunov vector function. The synthesis of adaptive control systems is inextricably linked with ensuring the stability of a closed object with an adaptation loop. Representation of the generalized custom object and the contour adaptation, as gradient systems and Lyapunov functions as potential functions allows the use of gradient-speed method of vector Lyapunov functions to study stability, robustness and quality of generic custom object and the contour adaptation. The aperiodic robust stability of the generalized configurable object and the main control system adaptation contour guarantees robust stability and quality of the control system.

Keywords: an adaptive control system, gradient-velocity method of the Lyapunov vector function.

МРНТИ 44.29.37

https://doi.org/10.48081/JOHC9814

Т. С. Герасименко
Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ В КОАКСИАЛЬНОМ КАБЕЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ COMSOL MULTIPHYSICS

В данной статье рассматриваются вопросы математического моделирования магнитного поля одножильного коаксиального кабеля, расчёт которого проводился методом конечных элементов. В программном комплексе COMSOL MULTIPHYSICS, для исследования магнитных полей была разработана математическая модель коаксиального кабеля с медной жилой, которая позволила исследовать указанные поля в области высоких частот. В работе очень наглядно продемонстрировано действие скин-эффекта, которое заключается в вытеснении электрических зарядов от центра проводника на его поверхность при протекании по нему переменного электрического тока при различных значениях частоты. Так же была рассчитана толщина скин-слоя для проводников, выполненных из различных материалов, обладающих хорошей проводимостью. В конце статьи автором приведены некоторые рекомендации, которых стоит придерживаться при проведении мероприятий по устранению поверхностного эффекта.

Ключевые слова: математическое моделирование, магнитное поле, коаксиальный кабель, скин-эффект.

Введение

Осуществляя выбор кабельной продукции необходимо учитывать поверхностный эффект при расчете активного сопротивления переменному току, особенно, в области высоких частот.

Коаксиальный кабель – это кабель, в котором есть центральный проводник и экран, которые расположены соосно и разделены между собой изоляционным материалом. Данный тип кабелей применяется для

передачи радиочастотных сигналов. Данная конструкция, обеспечивает совпадение осей и компоненты электромагнитного поля сосредотачиваются в пространстве между проводниками, что не только препятствует потерям, но и защищает от внешних электромагнитных излучений. Полностью исключить потери можно только в идеальном коаксиальном кабеле, который в реальности существовать не может, так как невозможно добиться необходимой геометрии. Тем не менее, процент потерь очень низкий, а для рабочих частот обеспечиваются стабильные характеристики [1].

Для расчета качества функционирования кабеля, его характеристического импеданса и потерь возникающих при распространении сигналов используются распределенные (удельные) параметры: последовательное сопротивление (R), последовательная индуктивность (L), шунтирующая емкость (C) и шунтирующая проводимость (G), которые определяются из решения уравнений Максвелла для электромагнитного поля [2]. Для численного нахождения решения уравнений Максвелла, можно использовать среду COMSOL Multiphysics, которая позволит определить, каким образом изменяются параметры кабеля и его эффективность при различных режимах работы и условиях эксплуатации. В данной статье проводится исследование коаксиального кабеля в области магнитных полей при различных частотах от1 Гц до1 гГц.

Материалы и методы

Исследования электромагнитных процессов в энергетических установках удобнее проводить на математической модели, созданной в программном комплексе COMSOL Multiphysics обладающим широкими возможностями и зарекомендовавшим себя с лучшей стороны.

Разработанная модель коаксиального кабеля в данной среде проектирования имеет характерные размеры: диаметр внутренней жилы a = 0,405 мм; диаметр жилы с изоляцией b = 1,045 мм; толщина экрана *t = 0,1 мм*. Диэлектрическая сердцевина между внутренним и внешним проводником (экраном) имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon_r = 2.25 - j\cdot 0{,}01$, относительную магнитную проницаемость $\mu_r = 1$ и нулевую проводимость, тогда как внутренний и внешний проводники обладают проводимостью $\sigma = 5{,}98\cdot e^7$ С/м (медный проводник). На рисунке 1 показано поперечное сечение коаксиального кабеля.

Стандартный метод решения для линий электропередач заключается в том, что структура электромагнитных полей в кабеле предполагается известной, а именно считается, что они будут осциллировать и затухать в направлении распространения волны, в то время как в поперечном направлении профиль сечения поля остается неизменным. Если затем мы находим решение, удовлетворяющее исходным уравнениям, то в силу теоремы единственности, найденное решение будет являться верным.

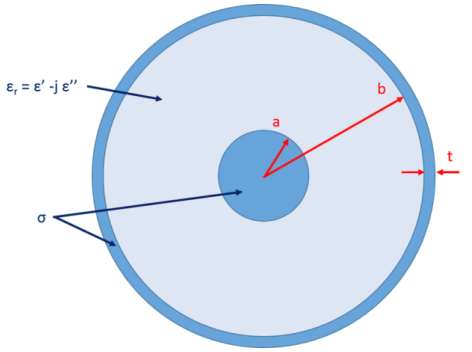


Рисунок 1 – Поперечное сечение коаксиального кабеля (2D)

На математическом языке все вышесказанное эквивалентно тому, что решение уравнений Максвелла ищется в виде *анзац*-формы для электромагнитного поля:

$$E(x,y,z)=\tilde{E}(x,y)e^{-\gamma\cdot z},$$

где $\gamma=\alpha+j\beta$ – комплексная постоянная распространения,

α и β – коэффициенты затухания и распространения волны.

В цилиндрических координатах для коаксиального кабеля, это приводит к хорошо известным решениям для полей:

$$\mathbf{E} = \frac{V_0\hat{r}}{rln(b/a)}e^{-\gamma z}$$

$$\mathbf{H} = \frac{I_0\hat{\phi}}{2\pi r}e^{-\gamma z}$$

из которых, затем получаются распределенные параметры на единицу длины [3].

В моделировании коаксиального кабеля при использовании интерфейса «*магнитные поля*» (magnetic fields) в модуле AC/DC необходимо провести дополнительные настройки. Все *проводниковые области необходимо добавить к узлу* «одновитковая катушка» (single-turn coil) *в разделе* «группа катушек» (group of coils), *так как выбранная опция обратного направления тока гарантирует, что направление тока во внутреннем проводнике будет противоположным току внешнего*

проводника, что обозначается на рисунке 2 точками и крестиками. Поэтому при расчете частотной зависимости будет учитываться распределение тока в одновитковой катушке, а не произвольное распределение тока. Благодаря этому, результаты численного моделирования хорошо согласуются с аналитическими решениями для области высоких частот [3].

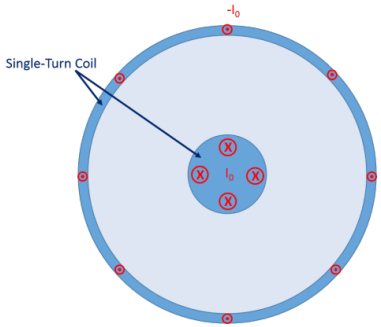
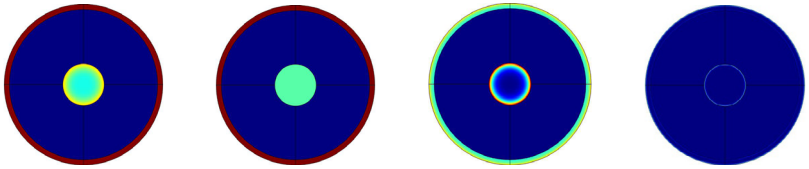


Рисунок 2 – Направления тока в проводниках коаксиального кабеля

При расчете данной модели коаксиального медного кабеля был получен график, который показывает распределение магнитной величины (плотности тока) на частоте от 1 Гц до1 гГц (10^9).

Результаты и обсуждение

Анализируя полученное распределение можно сделать вывод, что в области высоких частот (от 10^6 Гц до 10^9 Гц) весть ток сосредоточен в очень узкой области, которая соответствует толщине скин-слоя. При исследовании распределения плотности тока по проводнику в области более низких частот (от 10^5 Гц до 1 Гц), ток будет распределен либо по всему сечению, либо в очень большой области (рисунок 3).



10^9 Гц 10^6 Гц 10^5 Гц 10^3 Гц

Рисунок 3 – Распределение плотности тока в проводнике коаксиального кабеля при различных частотах

Неравномерное распределение плотности тока при различных частотах наглядно демонстрирует так называемый скин-эффект т.е. поверхностный эффект – затухание электромагнитных волн по мере их проникновения в глубь проводящей среды, в результате которого, переменный ток по сечению проводника распределяется не равномерно, а преимущественно в поверхностном слое. Скин-эффект обусловлен тем, что при распространении электромагнитной волны в проводящей среде возникают вихревые токи, в результате чего, часть электромагнитной энергии преобразуется в теплоту. Это и приводит к уменьшению напряжённостей электрического поля и плотности тока, т. е. к затуханию волны.

Чем выше частота электромагнитного поля и больше магнитная проницаемость проводника, тем сильнее (в соответствии с Максвелла уравнениями) вихревое электрическое поле, создаваемое переменным магнитным полем, а чем больше проводимость проводника, тем больше плотность тока и рассеиваемая в единице объёма мощность (в соответствии с законами Ома и Джоуля – Ленца) [4].

На изображении представленном на рисунке 3, наглядно можно увидеть распределение тока в проводнике круглого сечения. За границами глубины проникновения, движение тока либо отсутствует полностью, либо настолько мало, что им можно пренебречь.

Если центральную часть проводника, там, где отсутствует протекания тока, удалить, то получится полый проводник и при этом проводящие характеристики останутся на прежнем уровне без изменений. Сопротивление будет такое же, единственное изменится индуктивная и емкостная составляющая проводника.

Отсюда можно сделать вывод, что сопротивление проводника в электрической цепи имеет зависимость не только от материала проводника, но и от того, какой частоты ток проходит по нему. При значительных величинах частоты практически весь ток будет протекать по внешней границе проводника в зоне его контактирования с внешней средой.

Если в разделе Global Definitions (вкладка Parameters) ввести аналитическое выражение для определения толщины скин-слоя (рисунок 4), то можно получить его численную зависимость от частоты, которая показывает, что в области высоких частот глубина проникновения тока в проводнике ничтожно мала (около 0,002 мм для f=10^9 Гц) (рисунок 5).

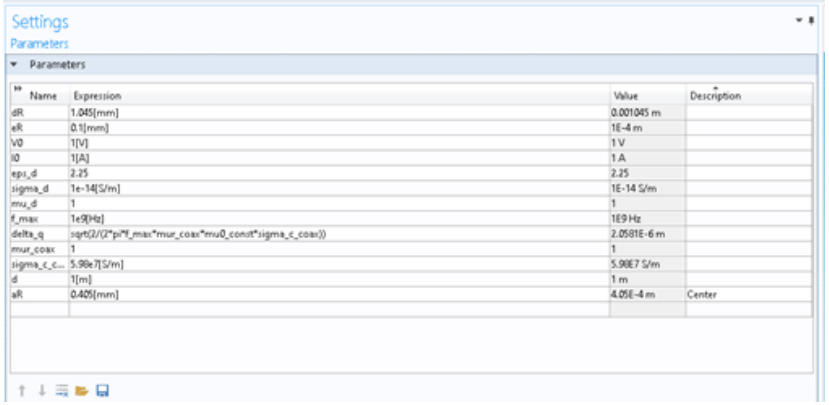


Рисунок 4 – Запись выражения для определения толщины скин-слоя

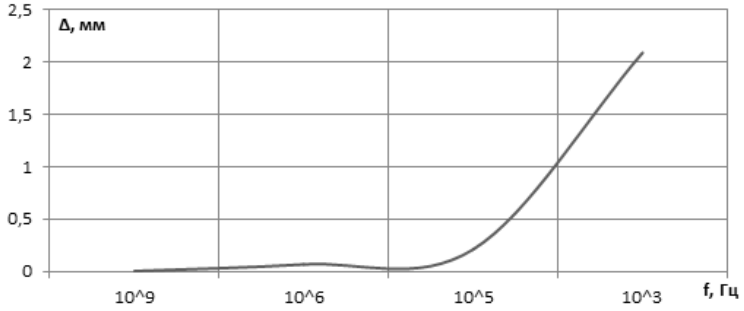


Рисунок 5 – Зависимость толщины скин-слоя от частоты тока в коаксиальном кабеле с медным проводником

Плотность тока убывает от поверхности к оси провода примерно по экспоненциальному закону.

При изменении выбора материала для токопроводящей жилы коаксиального кабеля в его математической модели и рассчете значения толщины скин-слоя на различных частотах были получены следующие зависимости представленные на рисунке 6.

Полученное распределение плотности тока в зависимости от его частоты позволяет осуществить возможность выполнять передачу электрических сигналов различных частот по одному и тому же проводнику. Например высокочастотные сигналы будут передаваться по внешнему радиусу проводника, а низкочастотные – по внутреннему.

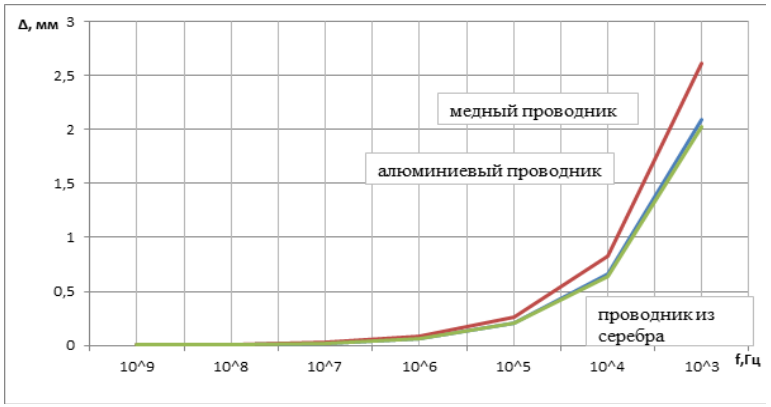


Рисунок 6 – Зависимость толщины скин – слоя от частоты тока в коаксиальном кабеле с жилами из различных проводников

Так же, зная максимально возможную глубину проникновения тока в медный проводник, нет смысла делать монолитную жилу большего сечения. А если требуется проводник с большим сечением, то целесообразней применять многожильный провод. Так как для многожильного провода говорить о конкретной величине скин-глубины очень сложно. Множественные переплетения и контакты между отдельными проводниками, образующими электропроводящую жилу не дают возможности точно рассчитать и оценить ее величину. В меньшей степени скин-эффект сказывается для многопроводного кабеля, каждый отдельный проводник жилы в котором имеет изоляционный слой. У него, по крайней мере, можно теоретически точно просчитать величину площади поверхности, которая будет большей по отношению к одножильному при равной площади сечения.

Так как с увеличением частоты переменного тока скин-эффект проявляется все более явно, это заставляет учитывать его при конструировании и расчетах электрических схем. Например, вместо обычных медных проводов могут применяться медные провода, покрытые тонким слоем серебра. Серебро обладает наибольшей проводимостью среди всех металлов, и тонкий его слой, в котором благодаря скин-эффекту и протекает большая часть тока, оказывает сильное влияние на общее сопротивление проводника.

Выводы

Таким образом, используя программу COMSOL Multiphysics, можно получить картину распределения магнитных полей в коаксиальном кабеле при выполнении частотного анализа и соответствующие значения основных

параметров данного кабеля, а также произвести расчет величины скин-слоя для различных проводников.

На основе полученного аналитического решения можно произвести проверку численного решения аналогичной задачи методом конечных элементов, который является более универсальным и позволяет рассмотреть более сложные варианты конструкции кабелей.

Полученная зависимость толщины скин - слоя от частоты тока в коаксиальном кабеле с жилами из различных проводников позволила сделать вывод, о целесообразности применения многожильного кабеля в области высоких частот, а так же для одножильного кабеля возможность применения медного провода, покрытого слоем серебра для уменьшения скин-эффекта и увеличения проводимости.

Список использованных источников

1 Какой коаксиальный кабель выбрать? [Электронный ресурс]. – http://tze1.ru/articles/detail/kakoy-koaksialnyy-kabel-vybrat.html.

2 **Шурина, Э. П., Великая, М. Ю., Федорук, М. П.** Об алгоритмах решения уравнений Максвела на неструктурированных сетках// Вычислительные технологии. Том 5, № 6, 2000 – 238 с.

3 **Andrey Strikwerda**. Моделирование кабелей и линий передач в среде COMSOL Multiphysics. [Электронный ресурс]. – https://www.comsol.ru/blogs/model-cables-and-transmission-lines-in-comsol-multiphysics.

4 Скин-эффект. [Электронный ресурс]. – https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/102/862.htm.

5 **Андреева, О. А. Гоненко, Т. В.** Применение компьютерного моделирования внешнего магнитного поля методом конечных элементов для диагностики повреждений асинхронного двигателя. // Вестник ПГУ, № 2, 2019 г.

6 Коаксиальные кабели, применение и характеристики. [Электронный ресурс]. – https://rostech.info/koaksialnye-kabeli-primenenie-i-harakteristiki**.**

7 Что такое скин-эффект и где его используют на практике. [Электронный ресурс]. – https://zen.yandex.ru/media/energofiksik/chtotakoe-skineffekt-i-gde-ego-ispolzuiut-na-praktike-5c7548d9317b9c00b411 c5ca.

8 Скин-эффект. [Электронный ресурс]. – https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/236909.

9 **Зайцев, Е. С.** Разработка математических моделей и алгоритмов системы мониторинга пропускной способности кабельных линий напряжением 110-500 КВ./Автореферат диссертации, Иваново, 2016 г.

10 **Борисов, А. В.** Численное моделирование физических процессов с применением метода конечных элементов на базе COMSOL Multiphysics : учебно-методический комплекс / А. В. Борисов, А. А. Воронцов; Том. гос. ун-т, [Ин-т дистанционного образования]. – Томск: [ИДО ТГУ], 2010. [Электронный ресурс]. – URL: http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000405404.

References

1 Kakoj koaksial'nyj kabel' vybrat'? [Which coaxial cable should you choose?] [Electronic resource]. – http://tze1.ru/articles/detail/kakoy-koaksialnyy-kabel-vybrat.html.

2 **Shurina, E. P., Velikaya, M.Yu., Fedoruk, M. P.** Ob algoritmah resheniya uravnenij Maksvela na nestrukturirovannyh setkah. [On algorithms for solving Maxwell's equations on unstructured grids] // Computational Technologies Volume 5, No. 6, 2000. – 238 p.

3 **Andrey Strikwerda.** Modelirovanie kabelej i linij peredach v srede COMSOL Multiphysics. [Modeling cables and transmission lines in COMSOL Multiphysics] [Electronic resource]. – https://www.comsol.ru/blogs/model-cables-and-transmission-lines-in-comsol-multiphysics.

4 Skin-effekt. [Skin effect] [Electronic resource]. – https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/102/862.htm.

5 **Andreeva, O. A. Gonenko, T. V.** Primenenie komp'yuternogo modelirovaniya vneshnego magnitnogo polya metodom konechnyh elementov dlya diagnostiki povrezhdenij asinhronnogo dvigatelya. [Application of computer simulation of an external magnetic field by the finite element method for diagnosing damage to an induction motor]// PSU Bulletin, No. 2, 2019. – C. 34–38.

6 Koaksial'nye kabeli, primenenie i harakteristiki [Coaxial cables, application and characteristics. [Electronic resource]. – https://rostech.info/koaksialnye-kabeli-primenenie-i-harakteristiki.

7 Chto takoe skin-effekt i gde ego ispol'zuyut na praktike. [What is skin effect and where is it used in practice] [Electronic resource]. – https://zen.yandex.ru/media/energofiksik/chto takoe-skineffekt-i-gde-ego-ispolzuiut-na-praktike-5c7548d9317b9c00b411 c5ca.

8 Skin-effekt. [Skin effect] [Electronic resource]. – https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/236909.

9 **Zajcev, E. S.** Razrabotka matematicheskih modelej i algoritmov sistemy monitoringa propusknoj sposobnosti kabel'nyh linij napryazheniem 110-500 KV [Development of mathematical models and algorithms for monitoring the throughput of cable lines with a voltage of 110-500 kV]./ Abstract of dissertation, Ivanovo, 2016. – 26 p.

10 **Borisov, A. V.** Chislennoe modelirovanie fizicheskih processov s primeneniem metoda konechnyh elementov na baze COMSOL Multiphysics: uchebno-metodicheskij komplekc [Numerical modeling of physical processes using the finite element method based on COMSOL Multiphysics: educational and methodological complex] / AV Borisov, AA Vorontsov; Tom. state un-t, [Institute of distance education]. – Tomsk : [IDO TSU], 2010. [Electronic resource]. – http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000405404.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Т. С. Герасименко

Comsol Multiphysics ортасын пайдалана отырып, коаксиалды кабельдегі жоғары жиіліктер саласындағы ток тығыздығын бөлуді зерттеу

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

T. S. Gerassimenko

Investigation of the current density distribution in the high-frequency region in a coaxial cable using the Comsol Multiphysics environment

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
Material received on 19.03.21.

Мақалада бір ядролы коаксиалды кабельдің магнит өрісін соңғы элементтер әдісімен математикалық модельдеу мәселелері қарастырылады. COMSOL MULTIPHYSICS бағдарламалық кешенінде мыс өзегі бар коаксиалды кабельдің математикалық моделі әзірленгендіктен жоғары жиіліктер саласындағы магнит өрістерін зерттеуге мүмкіндік берді. Жұмыста ауыспалы электр тогы ағып жатқан кезде өткізгіштің ортасынан оның бетіне электр зарядтарын ығыстырудан тұратын скин-эффект әсері айқын көрсетілген. Сондай-ақ, әртүрлі өткізгіштер үшін тері қабатының қалыңдығы есептелді және беткі әсерді жою үшін кейбір ұсыныстар берілді.

Кілтті сөздер: математикалық модельдеу, магнит өрісі, коаксиалды кабель, тері эффектісі.

The article deals with the mathematical modeling of the magnetic field of a single-core coaxial cable using the finite element method. In the COMSOL MULTIPHYSICS software package, a mathematical model of a coaxial cable with a copper core was developed, which made it possible to study magnetic fields in the high-frequency region. The work demonstrates very clearly the effect of the skin effect, which consists in the displacement of electric charges from the center of the conductor to its surface when an alternating electric current flows through it. We also calculated the thickness of the skin layer for various conductors and gave some recommendations for eliminating the surface effect.

Keywords: mathematical modeling, magnetic field, coaxial cable, skin effect.

ҒТАМР 44.01.05

https://doi.org/10.48081/VCCD4046

А. Т. Жетписбаева[1], К. У. Жетписбаев[2],
К. Т. Кусаинова[1], М. Х. Әлімжан[1], Т. Г. Сериков[1]
[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;
[2]ЖШС «NTS Design», Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ЖЕЛІЛЕР ҮШІН M2M ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Қазіргі уақытта кең таралған сымсыз технологиялар көмегімен көптеген құрылғылар жұмыс істейді. Адам қызметінің кез-келген саласы сияқты, M2M технологиялары да белгілі бір үрдістер шеңберінде дамиды. Кейде оларға ғана тән кейбір ерекшеліктерді бөліп алуға болатындығына қарамастан, көптеген жағдайларда бұл технологиялардың дамуы барлық қазіргі цифрлық технологиялардың жалпы даму бағыттарына сәйкес келеді. Жаңа жүйелер адамның іс-әрекетіне барынша аз тәуелді болатындай етіп әзірленуде. Инженерлік тұрғыдан алғанда, барлық байланыс құралдары-бұл машиналар. Бұл мақалада M2M технологиясының жалпы түсінігі берілген, бұл жүйе неден тұрады және қайда қолданылады, осы жүйенің артықшылықтары мен кемшіліктерін белгілеу, сондай-ақ оның одан әрі дамуын анықтау. M2M технологиясын зерттеу мақсатында телекоммуникациялық компаниялар құжаттарына зерттеу жұмыстары жасалды және технологиялық кітаптарға шолу жүргізілген. Көптеген процестерде адамның әсерін болдырмау үшін M2M жүйелері машинадан-машинаның өзара әрекеттесу жүйесін кеңінен қолданады. M2M арқасында машиналар басқа құрылғылар туралы мәліметтерді жинап қана қоймай, кейбір жағдайларда алынған ақпарат негізінде белгілі бір әрекеттерді орындай алады. M2M жүйелері оларды дамыту жолында кездесетін маңызды міндеттер - енгізу және пайдалануға қатысатын қызметкерлерді оқыту мәселелері.

Кілтті сөздер: machine to machine, инфокоммуникация, байланыс операторлары, машинааралық өзара іс-қимыл, M2M технология, телекоммуникация.

Кіріспе

Қазіргі уақытта инфокоммуникацияларды дамыту үшін радиожиілік ресурсын пайдаланатын және инфокоммуникациялық қызметтерге сымсыз қол жеткізу мүмкіндігін беретін технологиялар неғұрлым перспективалы болып табылады. Соңғы он жылда радиотехнологияларды дамыту жедел қарқынмен өтті,бұл көп жағдайда ақпаратты өңдеудің сандық тәсілдерін пайдалану, миниатюралау және радио жабдықтар өндірісін арзандату қамтамасыз етілді [1]. Осының бәрі бұқаралық нарықтардың пайда болуына алып келді: ұялы байланыс нарығы қоғамның басым бөлігінің қажеттілігін қамтамасыз етіп түгел қамтитын болды; машинааралық өзара әрекеттесуді (M2M) қамтамасыз ететін құрылғыларды және әрекет ету радиусы шағын құрылғыларды қолдану жоғары қарқынмен өсуде.

M2M әдетте машиналар арасындағы екі нүктелік байланысты, сондай-ақ датчиктер мен басқа да аппараттық құрылғылар арқылы ұялы немесе сымдық желілерге кіру үшін модемдер арқылы алмасады [2]. M2M-технологиялардың көмегімен біздің өміріміз оңай болады. M2M-технологияларды қолдану аясы өте кең. Бұл технология біздің өмірімізге соншалықты берік кірді, біз онсыз ыңғайлы өркениетті өмір сүруді ойламаймыз. Төлем терминалдары, банкоматтар, қауіпсіздік және бақылау жүйелері, көлік құралдарының мониторингі және тағы басқалар. Мұның бәрі M2M-технологиялардың арқасында жұмыс істейді.

Материалдар мен әдістер

M2M технологиясын зерттеу барысында негізгі материал ретінде Ucell, «ГИПРОСВЯЗЬ» ААҚ, ЖШС «КаР-Тел» сияқты телекоммуникациялық компаниялардың электронды құжаттамасы және M2M Communications: A Systems Approach кітабынан мәліметтер алынды.

Ұялы байланыс операторы Ucell компаниясы M2M нарығын дамытуға арналған бесінші конференция өткізді және осы конференцияда M2M технологиясын пайдалана отырып бизнес үдерістерді оңтайландыру бойынша даму перспективалары мен шешімдерін талқылады, «Интернет вещей» және «Ақылды үй»сияқты әлемдік басты трендтерге талдау жүргізді. «M2M шешімдер кәсіпкерлерге тиімділікті арттыруға және өндіріс пен мониторинг шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Ucell компаниясы жақында M2M платформасын іске қосты, бір сөзбен айтқанда, болашақ технологиясын енгізу туралы шешім қабылдады [3].

Инновациялық, ыңғайлы және пайдалы бизнес үшін де, қарапайым пайдаланушы үшін де M2M технологиясы құрылғыларға бір-бірімен адам қатысуынсыз ақпарат алмасуға мүмкіндік береді. Бүгінде бұл технологияларды пайдаланудың жоғары тиімділігі әлемдік нарықта, әсіресе денсаулық сақтау, логистика, сауда, төлем жүйелері, «ақылды үй», «электрондық үкімет», энергия ресурстары сияқты салаларда байқалады. M2M-сервистердің жылдам

дамуына ұялы байланыстың таралуы ықпал етеді, өйткені ол ұялы желінің қамту аймағындағы құрылғылар арасында қымбат емес және тиімді байланыс тәсілін қамтамасыз етеді. Құрылғылар арасында деректер алмасу ұялы байланыс желілерінде жүзеге асырылатындықтан, ұялы байланыстың барлық операторлары M2M нарығының қатысушылары болып табылады.

M2M қызметтері сервис-провайдермен әріптестікте қызмет көрсететін «Кселл» АҚ-ның және сервисті дербес және өз брендімен қамтамасыз ететін «КаР-Тел» ЖШС-ның өнім желісіне ресми енгізілді. M2M-деректерді беру ұялы байланыс желісі арқылы жүзеге асырылатындықтан, M2M-бизнесте барлық операторлар жанама түрде әрекет етеді. «КаР-Тел» ЖШС хабарлағандай, нарық жылына 10–15 %-ға өсе бастағанына қарамастан, Қазақстанда M2M-қызметінің енуі бүгінгі таңда 1 % деңгейінде тұр. Біздің солтүстік көршіміз-Ресейге келетін болсақ, кейбір деректер бойынша, 2012 жылы M2M-қызметтің ену деңгейі 10 %-дан аспаған, ал Швецияда бұл көрсеткіш 27 %-ға, ал Норвегияда – 12 %-ға тең [4].

«Билайн» операторының пікірінше, өсіп келе жатқан нарықтар сапасы анық емес стандарттармен, ұсақ қатысушылар санының көптігімен және бағаның үлкен шашырауымен сараланады. Мұндай нарықты болжау қиын, тіпті кеңейтілген деректерге қол жеткізе отырып, оператор тек қана трафик генерациясын қарау арқылы осы сим-картаның дербес телефоннан немесе планшеттен басқа құрылғыда үздіксіз тұрғанын түсінуге мүмкіндігі бар. Сим-карталарды әртүрлі M2M-қызметтердің мердігерлері жеткілікті көлемде сатып алады және оларды пайдалану туралы шынайы деректерді оператор иеленбейді [5]. Ол тек қана деректерді беру қызметін қамтамасыз етеді, сонымен қатар M2M – қызмет провайдері жобада көптеген мақсаттарды орындайды: құрылғыны қамтамасыз етеді және құрастырады, сервистік қызметтерді ұсынады және ең бастысы, аналитикалық жүйелерге қолжетімділікті қалыптастырады.

Қазақстанда M2M нарығы әлі де қалыптасуда,себебі бұл шешімдер тек екі-үш жыл бұрын пайда болды. Қазақстандағы iKS-Consulting өкілдігінің басшысы Светлана Черненконың айтуынша, аталмыш нарықтың нақты ұзақ мерзіміне қарамастан, оның көлемі әлі де қарапайым. 2012 жылдың қорытындысы бойынша, M2M нарығы табиғи түрде шамамен 250 мың құрылғыны құраған [6].

Француз ғалымы Дэвид Босвартик кітабы бүгінгі күні M2M индустриясының алдында тұрған негізгі мәселелерді қамтиды және ерте өрістету сценарийлерін және әлеуетті оңтайландыру шешімдерін ұсынады [7].

Нәтижелер мен талқылау

M2M технологиясының негізгі проблемалары: M2M қызметтеріне жоғары тарифтер, M2M құрылғысымен қосылудың төмен жылдамдығы, қосылудың тұрақсыздығы, мәлімделген қол жеткізу жылдамдығының

нақты сәйкес келмеуі, «үйдегі» аймақтан тыс пайдаланған кезде роумингтің жоғары бағалары [8].

Сонымен қатар, соңғы уақытқа дейін корпоративтік клиенттер арасында M2M қызметтерінің таралуын тежейтін елеулі кедергілердің бірі роуминг және стандарттау мәселелері қалды. Frost & Sullivan мәліметтері бойынша, роуминг проблемасы телекоммуникациялық нарықтың осы секторы үшін ең басты проблемалардың бірі болып табылады, ол M2M-ді ірі компаниялардың ғана емес, сондай-ақ шағын және орта бизнестің пайдалануын тежейді [9].

Сымсыз байланыс жүйелері негізінде M2M жүйелерін ұйымдастыру мүмкіндік береді:

– кабельдік инфрақұрылымды салу шығындарын азайту;

– жүйені енгізуге уақыт ұтып алу және қызмет көрсету құнын төмендету;

– қамту аймағын ұлғайту;

– мобильді терминалдармен жұмыс істеу [10]. Қазіргі уақытта сымсыз M2M жүйелерін ұйымдастыру үшін екінші буынның сымсыз байланыс стандарттары қолданылады, бұл трафиктің үлкен көлемін ауыстыру қажеттілігінің болмауымен байланысты.

Қорытынды

Бұл мақаланы жазу үшін біз әдебиетке шолу және талдау жасадық. Зерттеу барысында біз M2M технологиясының даму перспективаларын, олардың кемшіліктерін және қайда қолданылатынын білдік.

Осылайша, жоғарыда айтылғандарға қорытынды жасай отырып, M2M-технологиялары бүгінгі күні жоғары технологиялар саласында неғұрлым перспективалы және белсенді өсіп келе жатқан нарықтардың бірі болып табылатыны туралы қорытынды жасауға болады.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Шишов, О. В.** Современные технологии и технические средства информатизации: Учебник. М. : ИНФРА-М, 2012 г. – 462 с.

2 **Тихвинский, В. О., Бочечка, Г. С., Нургожин, Б. С., Айтмагамбетов, А. З.** Сети IoT/M2M: технологии, приложения и регулирование – Алматы, 2016. – 332 с.

3 **Саттаров, Ш.** Будущее уже здесь//Международная конференция компании Ucell по M2M технологиям – 30.11.2016.

4 **Говоркова, В.** Рынок M2M услуг в Казахстане 15–20 % в год. [Электронный ресурс]. – https://kapital.kz/tehnology/10581/rynok-m2m-uslug-v-kazahstane-rastet-na-15-20-vgod.html (31.03.2013).

5 **Домбровский, Н.** Казахстан: развитие M2M-технологий – от автоматизации бытовой электроники до госструктур местного уровня – Forbes Kazakhstan, № 23 (июль ‘13).

6 **Валерий Тихвинский.** ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» Перспективы и модели услуг в сетях M2M. 14.02.2011

7 **David Boswarthick.** M2M Communications: A Systems Approach. – France, 2012.

8 **Niyato, D., Lu Xiao and Wang Ping.** «Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid» Communications Magazine, IEEE, vol. 49, no. 4, pp. 53–59.

9 **Zhang Y. et al.** «Home M2M networks: Architectures, standards, and QoS improvement» IEEE Communciations Magazine, vol. 49, no. 4, pp. 44 – 52, 2011.

10 **Boswarthick, D.** M2M: When the machines start talking // MWC-2010, Barcelona, 2010.

References

1 **Shishov, O. V.** Sovremennye tehnologii i tehnicheskie sredstva informatizasii: [Modern technologies and technical means of informatization] Textbook. Moscow: INFRA-M, 2012-462 p.

2 **Tikhvinsky, V. O., Bochechka, G. S., B Nurgozhin, C., Aitmagambetov, A. Z.** Seti IoT/M2M: tehnologii, prilojeniya i regulirovanie **[**Networks for IoT/M2M: technology, applications, and regulation] – Almaty, 2016. – 332 c.

3 **Sattarov, Sh.** Buduschee uje zdes//Mejdunarodnaya konferensiya kompanii Ucell po M2M tehnologiyam [The future is here//International Conference on Ucell technologies in M2M] - 30.11.2016.

4 **In Govorkova.** Rynok M2M uslug v Kazahstane 15–20 % v god [The M2M services market in Kazakhstan is growing by 15–20 % year.]. – https://kapital.kz/tehnology/10581/rynok-m2m-uslug-v-kazahstane-rastet-na-15–20-vgod.html (31.03.2013).

5 **Dombrovsky, N.** Kazahstan: razvitie M2M-tehnologii – ot avtomatizasii bytovoi elektroniki do gosstruktur mestnogo urovnya [Kazakhstan: development of M2M technologies-from automation of consumer electronics to state structures of the local level] – Forbes Kazakhstan, No. 23 (July ‘13)

6 **Valery Tikhvinsky.** OAO «GİPROSVYAZ» Perspektivy i modeli uslug v setyah M2M [OJSC GIPROSVYAZ Perspectives and models of services in M2M networks]. 14.02.2011

7 **David Boswarthick.** M2M Communications: A Systems Approach. – France, 2012.

8 **Niyato, D., Lu Xiao and Wang Ping.** «Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid» Communications Magazine, IEEE, vol. 49, no. 4, pp. 53–59.

9 **Zhang Y. et al.** «Home M2M networks: Architectures, standards, and QoS improvement» IEEE Communciations Magazine, vol. 49, no. 4, pp. 44 – 52, 2011.

10 **Boswarthick, D.** M2M: When the machines start talking // MWC-2010, Barcelona, 2010.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

А. Т. Жетписбаева[1], К. У. Жетписбаев[2], К. Т. Кусаинова[1], М. Х. Әлімжан[1], Т. Г. Сериков[1]

Телекоммуникационные сети для технологий M2M

[1]Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.
[2]«NTS Design»,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан,
Материал поступил в редакцию 19.03.21.

A. T. Zhetpisbayeva[1], K. U. Zhetpisbayev[2], K. T. Kussainova[1], M. Kh. Alimzhan[1], T. G. Serikov[1]

Telecommunication networks for M2M technologies

[1]S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
[2]LLP «NTS Design»,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
Material received on 19.03.21.

С помощью широко распространенных в настоящее время беспроводных технологий работают многие устройства. Как и в любой области человеческой деятельности, технологии M2M развиваются в рамках определенных тенденций. Несмотря на то, что иногда можно выделить некоторые особенности, присущие только им, в большинстве случаев развитие этих технологий соответствует общим направлениям развития всех современных цифровых технологий. Новые системы разрабатываются таким образом, чтобы они минимально зависели от деятельности человека. С инженерной точки зрения все средства связи-это машины. В данной статье дается общее понятие технологии M2M, из чего состоит и где применяется данная система, обозначаются достоинства и недостатки данной системы, а также определяется ее дальнейшее развитие. С целью изучения технологии M2M были проведены исследования документов телекоммуникационных компаний и

проведен обзор технологических книг. Для предотвращения влияния человека во многих процессах системы M2M широко используют систему машинно-машинного взаимодействия. Благодаря M2M машины могут не только собирать данные о других устройствах, но и в некоторых случаях выполнять определенные действия на основе полученной информации. Важнейшими задачами, с которыми сталкиваются системы M2M на пути их развития, являются вопросы обучения персонала, участвующего в внедрении и эксплуатации.

Ключевые слова: machine to machine, инфокоммуникация, операторы связи, межмашинное взаимодействие, M2M технология, телекоммуникации.

With the help of currently widespread wireless technologies, many devices work. As in any field of human activity, M2M technologies are developing within the framework of certain trends. Despite the fact that sometimes it is possible to identify some features that are unique to them, in most cases, the development of these technologies corresponds to the general directions of development of all modern digital technologies. New systems are designed in such a way that they are minimally dependent on human activity. From an engineering point of view, all means of communication are machines. This article gives a general concept of M2M technology, what this system consists of and where it is used, identifies the advantages and disadvantages of this system, and also determines its further development. In order to study the M2M technology, research was conducted on the documents of telecommunications companies and a review of technology books was conducted. To prevent human influence in many processes, M2M systems widely use the machine-machine interaction system. Thanks to M2M, machines can not only collect data about other devices, but also, in some cases, perform certain actions based on the information received. The most important challenges that M2M systems face on the way to their development are the issues of training the personnel involved in the implementation and operation.

Keywords: machine to machine, info communication, communication operators, machine-to-machine interaction, M2M technology, telecommunications.

МРНТИ 28.23.19

https://doi.org/10.48081/HUQD5974

А. К. Жумадиллаева[1], Б. Б. Оразбаев[2], Ж. Н. Тулеуов[3], К. Н. Оразбаева[4], С. А. Сантеева[5]

[1,2,5]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Нур-Султан;
[3]Атырауский нефтеперерабатывающий завод, Республика Казахстан, г. Атырау;
[4]Казахский университет экономики, финансов и международной торговли, Республика Казахстан, г. Нур-Султан

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ РИФОРМИНГА

Приведены результаты исследования по математической постановке задачи принятия решений по управлению режимами работы установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского нефтеперерабатывающего завода в нечеткой среде и разработке эвристического метода ее решения. Для постановки и решения нечеткой задачи принятия решений по управлению объектом исследования модифицированы принципы главного критерия и Парето оптимальности для адаптации их работы в нечеткой среде. В результате получена многокритериальная задача принятия решений с несколькими нечеткими ограничениями. Разработанный эвристический алгоритм решения полученной нечеткой задачи основана на привлечение лица, принимающего решения, т.е. использования его опыта, знания и интуиции в процессе выбора решения. Полученные теоретические результаты по постановке и решению задачи принятия решений в нечеткой среде на основе эвристического подхода эффективно применены на практике. Оригинальность и новизна разработанного нечеткого подхода к решению задачи принятия решений по управлению режимами работы технологических установок заключается в том, что при постановке и решении задачи исходная нечеткая информация используется максимально. За счет этого обеспечивается высокая адекватность и эффективность принимаемых решений в нечеткой среде.

Ключевые слова: установка каталитического риформинга, нечеткая информация, управление режимами работы, принятия решений, принципы оптимальности.

Введение

В настоящее время почти во всех нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) для производства моторных топлив и улучшения качества бензина в основном используются установки каталитического риформинга [1–3]. В Атырауском НПЗ с конца 1971 года эксплуатируется установка каталитического риформинга модели ЛГ-35-11/300-95, предназначенная для производства высококачественных бензинов с октановым числом до 95 пунктов по исследовательскому методу. На данной установке также вырабатываются ароматические углеводороды для нефтехимического синтеза и водородсодержащие газы (ВСГ). Проектная производительность установки ЛГ-35-11/300-95 по сырью 300 тыс. в год, а в результате проведенных реконструкций в Атырауском НПЗ ее производительность повышена до 450 тыс. тн./год [4].

В настоящее время Республика Казахстан несмотря на большой объем добычи и запаса нефти не полной мере обеспечивает рынок высококачественным автомобильными бензинами. В этой связи вопросы производства высокооктановых, т.е. качественных, вредные выбросы в окружающую среду, не превышающие экологическим требованиям, являются весьма актуальными проблемами науки и технологии нефтепереработки. Технологические приемы и методы решения этих проблем (разработка и внедрение новой технологии, модернизация установок), как правило, являются более сложными и дорогими, требующие много вложения и расходов. Поэтому в качестве более эффективного подхода к решению проблем повышения производительности технологических установок производства качественных бензинов в данной работе предлагается методы оптимизации и эффективного управления режимами их работы на основе математических методов и компьютерных систем.

В настоящее время известны серия работ, которые посвящены вопросам разработки математических моделей и управлению процессом каталитического риформинга, например, [2, 5–7] и др. Проблемы оптимизации режимов работы реакторов риформинга обсуждены в работе [5], а некоторые вопросы ситуационного управления процессом риформинга исследованы в работе [6]. В работе [8] для оптимального распределения входных температур реакторов реализована система управления процессом каталитического риформинга. Но в этих и других работах недостаточно исследованы и решены вопросы принятия решений (ПР) по управлению режимами работы

установки каталитического риформинга в нечеткой среде. Можно отметить, что авторами работы [2] сформулирована задача управления процессом каталитического риформинга с учетом нечеткости. Но в данной работе для решения проблем многокритериальности применяется только принцип Парето оптимальности. Так как на практике часто имеют места различные производственные ситуации, в которых применение данного принципа не эффективно, требуется разработать других подходов, более эффективно решающие проблемы многокритериальности и нечеткости. Поэтому целью данной работы является получения математической постановки задач ПР по управлению режимами работы установки каталитического риформинга в нечеткой среде в зависимости от сложившейся ситуаций и имеющейся информации и разработка эвристических методов их решения.

Материалы и методы

Установка каталитического риформинега ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ состоит из блока предварительной гидроочистки прямогонного бензина; блока риформинга гидроочищенного бензина, и блок стабилизации.

Сырьем блока гидроочистки является прямогонный бензин, который поступает от установки первичной переработки нефти АВТ-3 ЭТ Атыраукого НПЗ. В данном блоке проекает процесс гидроочистки, который предназначен для очистки и удаления из состава прямогонного бензина органических соединений серы, кислорода и азота, являющимися ядами для используемых катализаторов. Продукцией блока гидроочистки является гидрогенизат – гидроочищенный бензин. Блок каталитического риформинга предназначен для превращения нафтенов и парафинов в ароматические углеводороды, для повышения октанового числа т.е. качества производимого бензина. Сырьем данного блока является гидрогенизат с блока гидроочистки, а продукцией – высокооктановый бензин (катализат) [4].

Так как установка ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ эксплуатируется с 1971 года имеются определенные проблемы, связанные с износом и низкой надежностью измерительных приборов. Поэтому имеются определенные проблемы с измерениями информации, а некоторые важные параметры, характеризующие качества продукции, оцениваются качественно с нечеткими выражениями с участием человека-оператора и лаборантов заводской лаборатории. Все это затрудняют процессов разработки оптимизации и управления режимами работы на основе традиционных математических методов. На исследуемом объекте работают опытные операторы-технологи, которые являются лицом, принимающим решение (ЛПР), и могут эффективно принимать эффективные решения по управлению режимами работы установки основе своего знания, опыта и интуиции, представляющую собой нечеткую информацию. Необходимо получить постановки задач

ПР по управлению режимами работы установки риформинга в условиях многокритериальности и нечеткости части исходной информации и разработать эвристический метод ее решения.

В работе с целью формализации и получению математической постановки нечетких задач ПР по эффективному управлению режимами работы установки риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ используются методы системного анализа и теорий принятия решений [9, 10]. Для получения, формализации, обработки и использование нечеткой информации используются методы экспертных оценок и теорий нечетких множеств [11–13].

Результаты и обсуждение

Для разработки системы поддержки ПР по управлению режимами работы установки каталитического риформинга Аырауского НПЗ, характеризущаяся нечеткостью исходной информации, необходимо сформулировать постановок задач принятия решений по управлению режимами работы объета в нечеткой среде на решить их основе математических моделей процесса риформинга. В работах [14, 15] нами предложена методика и разработаны математические модели основных агрегатов установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ с учетом нечеткости исходной информации, которых можно использовать при решении задач управления режимами работы данной установки. В этой работе приведем результаты исследовании по получению постановок задач ПР в нечеткой среде в различных условиях и разработанных методов их решения с привлечением ЛПР.

В качестве критериев в процессе принятия решений по управлению режимами работы установки рассматриваем объемы продукции: $f_1(\mathbf{x})$ – бензина, м^3/час; $f_2(\mathbf{x})$ – ВСГ, м^3/час и величина $f_3(\mathbf{x})$ – снижение издержки процесса (млн.тг). Здесь и далее $\mathbf{x}=(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)$ – вектор входных и режимных параметров реакторов риформинга, с помощью которых управляются процесс риформинга: x_1 – расход сырья; x_2, x_3 и x_4 – соответственно, объемная скорость, температура и давление в реакторе риформинга Р-4,4а; x_5 – соотношение H_2/сырье.

В процессе управления необходимо обеспечить необходимое качества вырабатываемого бензина, т.е. $\varphi_1(\mathbf{x})$ – октановое число и фракционный состав бензина. Фракционный состав определяется 10 % ($\varphi_2(\mathbf{x})$) и 50 %-ной ($\varphi_3(\mathbf{x})$) отгонкой бензина. Эти качественные показатели бензина определяются нечеткими ограничениями вида $\varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q=\overline{1.3}$, где $\tilde{\geq}$ – нечеткое ограничение, выражаемое термом «не менее». Как видно и критерии управления и ограничения зависят от вектора входных и режимных параметров $\mathbf{x}$. Следует отметить, что значения этих параметров также

ограничены и определяется в заданном технологическим регламентом интервале: $x_j \in \Omega \supset X$, $X=\left[x_j^{\min}, x_j^{\max}\right], j=\overline{1,5}$, где $x_j^{\min}, x_j^{\max}$ – минимальные и максимальные значения параметра $x_i, j=\overline{1,5}$. Эти ограничения, тоже могут быть нечеткими ($\tilde{\geq}, \tilde{<}, \cong$).

Сформулируем задач ПР по управлению режимами работы реакторов риформинга с учетом нечеткости ограничении и предлагаем эвристические метод их решения, основанный на учет опыт и знания ЛПР, его предпочтения при выборе решений. На основе вышеприведенного обсуждения в общем виде задачу ПР по управлению режимами работы установки каталитического риформинга в условиях многокритериальности и нечеткости запишем в виде:

$$\max_{\mathbf{x}\in X} f_i(\mathbf{x}),\ i=\overline{1,3}, \tag{1}$$

$$X=\left\{\mathbf{x}\in\Omega,\ \varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q=\overline{1,3}\right\} \tag{2}$$

В задаче (1) − (2) мы стремимся максимизировать вектора критериев при наличии нескольких нечетких ограничений, но принцип оптимизации критериев не ясно, т.е. корректность задачи недостаточно. Поэтому для обеспечения корректности задачи и для удобства применения методов нечетких множеств задачу ПР по управлению режимами работы установки каталитического риформинга в нечеткой среде примем следующие допущения и обозначения.

Пусть $\mu_0^1(\mathbf{x})$ $\mu_0^2(\mathbf{x})$ $\mu_0^2(\mathbf{x})$ – нормализованные исходные критерии $f_1(\mathbf{x})$ $f_2(\mathbf{x})$ $f_2(\mathbf{x})$ имеющие значения в интервале [0, 1]. Допустим, что для каждого нечеткого ограничения, описывающего качественные показатели бензина $\varphi_q(\mathbf{x}) \tilde{\geq} b_q, q=\overline{1,3}$ построена функции принадлежности (ФП): $\mu_q(\mathbf{x})$ $q=\overline{1,3}$, оценивающие степени их выполнения. Считаем известен или задается ЛПР ряд приоритетов для локальных критериев $I_C=\{1,2,3\}$ и ограничений $I_R=\{1,2,3\}$ или весовой вектор, отражающий взаимную важность критериев $\boldsymbol{\gamma}=(\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3)$ и ограничений $\boldsymbol{\beta}=(\beta_1,\beta_2,\beta_3)$.

Как уже было отмечено, критерий и ограничения зависят от параметров $x_i, j=\overline{1,5}$ и эти зависимости описываются математическими моделями реакторов риформинга, полученные в [15].

Тогда на основе модификации для работы в нечеткой среде и комбинации различных компромиссных схем принятия решений можно получить соответствующие постановки задач ПР в нечеткой среде и разработать эвристических алгоритмов их решения. Например, модифицируя принципов

главного критерия − ГК (для критериев) Парето-оптимальности – ПО (для критериев), общую задачу ПР (1) − (2) можно корректно поставить в виде:

$$\max_{\mathbf{x}\in X} \mu_0^1(\mathbf{x}), \tag{3}$$

$$X = \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x} : \mathbf{x} \in \Omega \wedge \arg\left(\mu_0^i(\mathbf{x}) \geq \mu_R^i\right) \wedge \arg\max_{\mathbf{x}\in\Omega} \sum_{q=1}^{3} \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \\ \qquad \wedge \sum_{q=1}^{3} \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, i = \overline{2,3},\ q = \overline{1,3} \end{array} \right\} \tag{4}$$

Здесь и далее $\wedge$ – знак логического «*И*», требующие истинность связываемых утверждений: μ_R^i – граничные значения для локальных критериев $\mu_0^i(\mathbf{x})$ $i = 2,3$, задаваемые ЛПР. Остальные обозначения описаны выше.

На практике ЛПР в качестве главного критерия легко выбирает объем производимого бензина и на остальные критерии могут задать граничные значения, а количество ограничений не большое и ЛПР может назначить на них весовые векторы. Поэтому полученная постановка задачи (3) – (4) с использованием комбинации принципов ГК и ПО является более адекватной и правильной.

Для решения полученной нечеткой задачи ПР по управлению режимами работы установки каталитического риформинга предлагается следующий эвристический алгоритм, основанный на использование опыта, знания и интуиции ЛПР в процессе выбора решения. Приведем описание алгоритма для общего случая задачи ПР с m критериями ($\mu_0^i(\mathbf{x})$ $i = \overline{1,m}$) и L нечеткими ограничениями ($\mu_q(\mathbf{x})$ $q = \overline{1,L}$), с дополнительными результатами, полученные при решении задачи (3) − (4).

Алгоритм МС+PS

1 ЛПР определяет главного критерия $\mu_0^1(\mathbf{x})$ и граничные значения на остальные критерии $\mu_0^i(\mathbf{x})$ $i = \overline{2,m}$, которые переносятся в состав ограничения и учитываются как огрваничения. В решаемой задаче в качестве главного критерия $\mu_0^1(\mathbf{x})$ выбран объем производимого бензина. Остальные 2 критерия $\mu_0^i(\mathbf{x})$ $i = \overline{2,3}$ переннесено в состав ограничения с зданными граничными значениями $\mu_R^2 = 13;.\ \mu_R^5 = 0{,}05$.

2 ЛПР или эксперты определяет значения весового вектора для ограничений $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, ..., \beta_L)$ с учетом $\sum_{q=1}^{L} \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \sum_{q=1}^{L} \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, q = \overline{1,L}$. Для

решаемой задачи (3)−(4) определено $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3) = (0.6, 0.3, 0.1)$, *т.е.* наиболее важным ограничением является октановое число бензина.

3 Задается $p_q, q = \overline{1,L}$ − число шагов по каждой q-ой координате. При решении поставленной задачи задано $p_q = 4, q = \overline{1,3}$.

4 Вычисляются величины шагов для изменения координат весового вектора $\boldsymbol{\beta}$ по: $h_q = \frac{1}{p_q}, q = \overline{1,L}$. Вычислен $h_q = \frac{1}{4} = 0.25, q = \overline{1,3}$.

5 Определяется набор весовых векторов $\boldsymbol{\beta}^t, t = \overline{1,N}$, где $N = (p_1 + 1)(p_2 + 1)...(p_L + 1)$ варьированием координат на отрезках [0,1] с шагом h_q. На компьютере определены $\boldsymbol{\beta}^t$, для $t = \overline{1, 125}$

6 Если локальные критерии $\mu_0^i(\mathbf{x})$ $i = \overline{1,m}$ и/или их весовые коэффициенты γ_i, $i = \overline{1,m}$ − определено нечетко, то для них определяется терм-множество и строятся функции принадлежности. В нашей задаче они являются четкими, поэтому данный пункт пропускается

7 Для описания нечетких ограничения определяется терм-множество и строятся ФП, оценивающие степени их выполнения: $\mu_q(\mathbf{x})$ $q = \overline{1,L}$. ФП построены с помощью Fuzzy Logic Toolbox с выбором Гауссовой формы: gauss2mf .

8 Решается задача максимизации главного критерия: $\max_{\mathbf{x}\in X} \mu_0^1(\mathbf{x})$ на множестве допустимых решений X, определяемое по выражению (4). При этом используется подходящий метод оптимизации. В результате для различных значений μ_R^i и $\boldsymbol{\beta}^t$ определяется текущий набор решения: $\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t)$ − искомое значение вектора входных и режимных параметров, используемые при управлении режимами работы установки; $\mu_0^1(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t)), ..., \mu_0^m(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t))$ − значения локальных критериев и $\mu_1(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t)), ..., \mu_L(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t))$ − степени выполнения нечетких ограничений. При оптимизации использован алгоритм метода штрафных функции.

9 Полученный набор текущих решений предъявляется ЛПР для анализа и выбора лучших. Если текущие решения не удовлетворяет ЛПР, то им корректируется значения μ_R^i и/или $\boldsymbol{\beta}^t$ и для улучшения решения осуществляется возврат к пункту 2. Иначе, т.е. если ЛПР удовлетворяет полученное решение, переход к следующему пункту. В процессе решении задачи в циклах 1−4 цикла ЛПР скорректировал необходимые параметры и со 2-го пункта проводил улучшения решения. В 5-м цикле ЛПР выбраны окончательные решения.

10 Поиск решения прекращается и выводится окончательное решение, которое удовлетворяет ЛПР: значения управляющих параметров $\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t)$, которые обеспечивают оптимальные значения всех критериев $\mu_0^1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t)), ..., \mu_0^m(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t))$ и максимальные значения ФП выполнения ограничении $\mu_1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t)), ..., \mu_L(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta}^t))$ Выбранные ЛПР окончательных

решений занесены в таблицу 1. В таблице 1 также приведены результаты, полученные при применении детерминированного подхода и реальные данные для сравнения.

Анализируя результатов, приведенных в таблице 1 можно отметить, что предложенный эвристический алгоритм *MC+PS* более эффективен по сравнению детерминированным методом, так как полученные результаты эвристического подхода более совпадают с реальными данными. Это объясняется тем, что предложенном методе учитывается опыт, знания ЛПР, экспертов, более полно описывающая реальную ситуацию без идеализации. Кроме того, предложенный и использованный эвристический алгоритм *MC+PS* позволяет определить и учитывать степени выполнения нечетких ограничений и позволяет снижение издержки организации процесса в более 2 раза.

Разработанный эвристический алгоритм основан модификации принципов главного критерия для критериев и Парето оптимальности для ограничений и эффективно применяется в случае возможности выделения главного критерия и при небольшом количестве нечетких ограничений (по требованию принципа Парето оптимальности 7±2).

Выводы. Поучена математическая постановка задачи принятия решений по управлению режимами работы установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ при нечетких ограничениях. На основе модификации для работы в нечеткой среде принципов оптимальности главного критерия и Парето оптимальности разработан эвристический метод решения сформулированной нечеткой задачи. В случае затруднения применения данных принципов на практике, например, сложность выделения главного критерия, в зависимости от доступности исходной информации рекомендуется выбрать более подходящие принципы оптимальности: равенства, квазиравенства, идеальной точки, максимина или др. Для этого аналогичным подходу, изложенного в работе, необходимо модифицировать выбранных принципов оптимальности для работы в нечеткой среде.

Таблица 1 – Результаты оптимизации процесса риформинга по детерминированному методу [16], по предложенному эвристическому алгоритму, и реальные данные с установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ

Критерии и ограничения	Детермини-нированный метод (лит. данные)	Предложенный метод (*MC+PS*)	Реальные данные (Атырауский НПЗ)
Объем бензина – главный критерий $f_1(\mathbf{x}) = \mu_0^1(\mathbf{x})$, м³/час	77.0	79.0	78.5
Объем ВСГ $f_2(\mathbf{x}) = \mu_0^2(\mathbf{x})$, м³/час	13.5	14.0	14.0

Снижение издержки организации процесса, $f_3(\mathbf{x}) = \mu_0^3(\mathbf{x})$, млн. тг.	-	0,04	0,09
Качество бензина: октановое число $\varphi_1(\mathbf{x}) \tilde{\geq} 95$	95	95	$(95)^{л}$
Качество фракционный состав бензина: 10 % отгонка, °С $(\varphi_2(\mathbf{x}) \tilde{\leq} 70)$;	70	70	$(70)^{л}$
50 % отгонка, °С $(\varphi_3(\mathbf{x}) \tilde{\leq} 115)$.	115	114	$(114)^{л}$
ФП для неч. ограничения 1 – $\mu_1(\mathbf{x}^*(\boldsymbol{\beta}))$	-	1.0	-
ФП для неч. Ограничения 2 – $\mu_2(\mathbf{x}^*(\boldsymbol{\beta}))$	-	0.98	-
ФП для неч. ограничения 3 – $\mu_3(\mathbf{x}^*(\boldsymbol{\beta}))$	-	0.98	-
Оптимальные значения вектора управления $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*)$: x_1^* – загрузка сырья; м³/час	80	80	80
x_2^* – объем. скорость в реакторах; час$^{-1}$	1.7	1.3	1.5
x_3^* – темп. в ректоре риформинга; °С	500	493	495
x_4^* – давл. в реакторе риформинга; кг/см²	26	25	25
x_5^* – отношение водород/ углеводороды.	415	400	400

Примечание: $()^{л}$ – соответствующие качественные показатели определяются лабораторным путем; (-) – соответствующие показатели не определяются данным методом. Время определения решения в сравниваемых методах примерно одинаковое.

На основе разработанного эвристического алгоритма *MC+PS* решена сформулированная задача ПР по управлению режимами работы исследуемого объекта в условиях многокритериальности и нечеткости ограничения. Полученные результаты оптимизации с применением предложенного нечеткого подхода оказались более адекватными и эффективными в условиях нечеткости некоторой части исходной информации. Эти утверждения обосновывается сравнениями результатов оптимизации процесса риформинга по известным методам, по предложенному эвристическому алгоритму и реальных данных с установки ЛГ-35-11/300-95 Атырауского НПЗ.

В качестве новизны предлагаемого нечеткого подхода к решению задачи ПР в нечеткой среде можно отметить, что задача ставится и решается в нечеткой среде. При этом исходная нечеткая задача не заменяется с набором четких эквивалентных задач, как делается в некоторых известных методах решения нечетких задач. Таким образом на основе максимального

использования исходной нечеткой информации адекватность решения задачи в нечеткой среде значительно повышается.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855680 – Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического риформинга).

Список использованных источников

1 **Абдульминев, К. Г., Ахметов, А. Ф., Сайфуллин, Н. Р.** Производство ароматических углеводородов и высокооктановых бензинов [Текст] // Башкирский хим.журнал.–2017. – Том 7. – № 2. – С. 47.

2 **Matveykin, V. G., Dmitrievsky, B. S., Kokuev, A. G., Dzhambekov, A. M.** Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions [Text] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2019. – Vol. 330. – № 6. – P. 59.

3 **Adzamic, Z., Besic, S.** The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery [Text] // Fuels and lubricants. – 2013, – Vol. 42, – № 1, – P. 83.

4 Технологический регламент установки каталитического риформинга ЛГ-35-11/300-95 [Текст]. – Атырау, 2018. – 135 с.

5 **Bequette, W**. Process Control Modeling Design and Simulation. – Upper Saddle River : Pretice Hall PTTr. [Text] – 2003. – 564 p.

6 **Mircea, C., Agachi, S., Marimoiu, V**. Simulation and Model Predictive Control of a UOP Fluid Catalytic Cracking [Text] // Chemical Engineering and Processing. – 2003. – Vol. 45. – P. 67.

7 **Сотников, В. В., Борзов, А. Н., Сибаров, Д. А., Лисицын, Н. В.** Математическая модель для управления процессом гидроочистки [Текст] // Информационные технологии в науке и производстве: Сб. тр. Междунар. науч. конф. – Орел: ОрелГТУ, – 2004. – Том 3. – С. 43.

8 **Coleman, B., Babu, J.** Techniques of Model Based Control. – Upper Saddle River : Pretice Hall PTTr. [Text] –2012. – 576 p.

9 **Pavlov, S. Yu., Kulov, N. N., Kerimov, R. M.** Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis [Text] // Theoretical Foundations of Chem. Eng. – 2016. – Vol. 53. – № 2. – P. 117.

10 **Юдин, Д. Б.** Вычислительные методы теории принятия решений [Текст] – М. : Наука, 2015. – 320 с.

11 **Гуцыкова, С.** Метод экспертных оценок. Теория и практика : монография [Текст]. – М. : Когито-Центр, 2017. – 509 с.

12 **Алиев, Р. А., Церковный, А. Э., Мамедова, Г. А.** Управление производством при нечеткой исходной информации : монография [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 307 с.

13 **Рыжов, А. П.** Теория нечетких множеств и ее приложений : учебное пособие [Текст]. – М. : Изд-во МГУ. 2017. – 115 с.

14 **Оразбаев, Б. Б., Жумадиллаева, А. К., Оразбаева, К. Н., Курмангазиева, Л. Т., Утенова, Б. Е.** Методика разработки математических моделей взаимосвязанных технологических агрегатов установки каталитического риформинга [Текст] // Вестник Торайгыров университет. Энергет. серия. – 2020. – № 3 – С. 265.

15 **Orazbayev, B., Ospanov, Ye, Orazbayeva, K., Makhatova, V.** Development of mathematical models of R-1 reactor hydrotreatment unit using available information of various types [Text] // Journal of Physics: Conf. Series 1399. –2019. –P. 6. doi:10.1088/1742-6596/ 1399/4/044024.

16 **Gumen, M. I**. Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 [Text] // Petroleum Processing and Petrochemistry. – 2001. – № 11. – P. 54.

References

1 **Abdul'minev, K. G., Akhmetov, A. F., Sayfullin, N. R.** Proizvodstvo aromaticheskikh uglevodorodov i vysokooktanovykh benzinov [Production of aromatic hydrocarbons and high-octane gasolines] [Text] // In Bashkir Chemical Journal. – 2017. – Vol. 7. – № 2. – P. 47.

2 **Matveykin, V. G., Dmitrievsky, B. S., Kokuev, A. G., Dzhambekov, A. M.** Problem of control of catalytic reforming and method of its solutions [Text] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2019. – Vol. 330. – № 6. – P. 59.

3 **Adzamic, Z., Besic, S.** The impact of the catalytic reforming operation severity on cycle duration and product quality at the Rijeka oil refinery [Text] // Fuels and lubricants. – 2013, – Vol. 42, – № 1, – P. 83.

4 Tekhnologicheskiy reglament ustanovki kataliticheskogo riforminga LG-35-11/300-95 [Technological regulations for the catalytic reforming unit LG-35-11] [Text] – Atyrau, 2018. – 135 p.

5 **Bequette, W**. Process Control Modeling Design and Simulation. – Upper Saddle River : Pretice Hall PTTr. [Text] – 2003. – 564 p.

6 **Mircea, C., Agachi, S., Marimoiu, V**. Simulation and Model Predictive Control of a UOP Fluid Catalytic Cracking [Text] // Chemical Engineering and Processing. – 2003. – Vol. 45. – P. 67.

7 **Sotnikov, V. V., Borzov, A. N., Sibarov, D. A., Lisitsyn, N. V.** Matematicheskaya model' dlya upravleniya protsessom gidroochistki [Tekst] //

Informatsionnyye tekhnologii v nauke i proizvodstve [Mathematical model for hydrotreating process control] [Text] : Information technologies in science and production: Int. scientific. Conf. – Orel: Orel State Technical University, – 2004. – Vol. 3. – P. 43.

8 **Coleman, B., Babu, J.** Techniques of Model Based Control. – Upper Saddle River : Pretice Hall PTTr. [Text] –2012. – 576 p.

9 **Pavlov, S. Yu., Kulov, N. N., Kerimov, R. M.** Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis [Text] // Theoretical Foundations of Chem. Eng. – 2016. – Vol. 53. – № 2. – P. 117.

10 **Yudin, D. B.** Vychislitel'nyye metody teorii prinyatiya resheniy [Computational methods of decision-making theory] [Text] – M. : Nauka, 2015. – 320 p.

11 **Gutsykova, S.** Metod ekspertnykh otsenok. Teoriya i praktika [Method of expert assessments. Theory and practice: monograph] : [Text]. – M. : Kogito-Tsentr, 2017. – 509 p.

12 **Aliyev, R. A., Tserkovnyy, A. E., Mamedova, G. A.** Upravleniye proizvodstvom pri nechetkoy iskhodnoy informatsii [Production management with fuzzy initial information: monograph] [Text]. – M. : Energoatomizdat, 1991. – 307 p.

13 **Ryzhov, A. P.** Teoriya nechetkikh mnozhestv i yeye prilozheniy [Theory of fuzzy sets and its applications: a tutorial] : [Text]. –M. : Izd-vo MGU. 2017. – 115 p.

14 **Orazbayev, B. B., Zhumadillayeva, A. K., Orazbayeva, K. N., Kurmangaziyeva, L. T., Utenova, B. Ye.** Metodika razrabotki matematicheskikh modeley vzaimosvyazannykh tekhnologicheskikh agregatov ustanovki kataliticheskogo riforminga [Methodology for the development of mathematical models of interconnected technological units of the catalytic reforming unit] [Text] // Bulletin Toraigyrov University. Energy series. – 2020. – № 3 – P. 265.

15 **Orazbayev, B., Ospanov, Ye, Orazbayeva, K., Makhatova, V.** Development of mathematical models of R-1 reactor hydrotreatment unit using available information of various types [Text] // Journal of Physics: Conf. Series 1399. – 2019. – P. 6. doi:10.1088/1742-6596/1399/4/044024.

16 **Gumen, M. I**. Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 [Text] // Petroleum Processing and Petrochemistry. – 2001. – № 11. – P. 54.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. К. Жумадиллаева[1], Б. Б. Оразбаев[2], Ж. Н. Тулеуов[3], К. Н. Оразбаева[4], С. А. Сантеева[5]

Риформинг қондырғысы жұмыс режимдерін басқаруда шешім қабылдау айқын емес есепті шешу алгоритмі

[1,2,5]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;
[3]Атырау мұнай өңдеу зауыты, Қазақстан Республикасы, Атырау қ.;
[4]Қазақ Экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. K. Zhumadillaeva[1], B. B. Orazbaev[2], Zh.N. Tuleuov[3], K. N. Orazbaeva[4], S. A. Santeyeva[5]

Алгоритм решения нечеткой задачи принятия решений по управлению режимами работы установки риформинга

[1,2,5]L. N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;
[3]Atyrau Oil Refinery, Republic of Kazakhstan, Atyrau;
[4]Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 19.03.21.

Атырау мұнай өңдеу зауытының ЛГ-35-11/300-95 каталитикалық риформинг қондырғысының жұмыс режимдерін басқару бойынша айқын емес ортада шешім қабылдау есебін қою мен оны шешудің эвристикалық тәсілін құруға арналған жүргізілген зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу нысанын басқару бойынша шешім қабылдау айқын емечс есебін тұжырымдау және шешу үшін басты критерий және Парето оптималдық принциптері модификацияланып, айқынсыздықта жұмыс жасауға бейімделген. Нәтижесінде көпкритерийлі, бірнеше айқын емес шектеулері бар шешім қабылдау есебі алынған. Алынған айқын еес есепті шешу үшін құрылған эвристикалық алгоритм шешім қабылдаушы тұлғаны қатычстыруға, ягни оның шешім таңдай процесіндегі тәжірибесін, білімін және түйсігін пайдалануға негізделген. Айқын емес ортада шешім қабылдау есебін қою мен оны шешу бойынша алынған теориялық нәтижелкер эвристикалық тәсілдеме негізінде практикада нақты есепті шешуде тиімді қолданылған. Технологиялық қондырғылардың жұмыс режимдерін басқаруда шешім қабылдау есебін шешу үшін ұсығылған айқынсыз тәсілдеменің жаңашылдығы – есепті қою мен шешуде бастапқы

айқын емес ақпараттардың толықтай қолдануында. Айқын емес ақпаратты толықтай қолдану айқын емес ортада қабылданатын шешімнің дұрыстығы мен тиімділігін қамтамасыз етеді.

Кілтті сөздер: каталитикалық риформинг қондырғысы, айқын емес ақпарат, жұмыс режимдерін басқару, шешім қабылдау, оптималдық принциптері.

The results of the study on the mathematical formulation of the decision-making problem for the control of the operating modes of the catalytic reforming unit LG-35-11 / 300-95 of the Atyrau oil refinery in a fuzzy environment and the development of a heuristic method for its solution are presented. For the formulation and solution of a fuzzy decision-making problem for managing the object of research, the principles of the main criterion and Pareto optimality have been modified to adapt their work in a fuzzy environment. As a result, a multicriteria decision-making problem with several fuzzy constraints was obtained. The developed heuristic algorithm for solving the obtained fuzzy problem is based on the involvement of a decision-maker, i.e. using his experience, knowledge and intuition in the process of choosing a solution. The obtained theoretical results on the formulation and solution of the decision-making problem in a fuzzy environment based on the heuristic approach are effectively applied in practice. The originality and novelty of the developed fuzzy approach to solving the problem of making decisions on the control of operating modes of technological units lies in the fact that when setting and solving the problem, the initial fuzzy information is used to the maximum. Due to this, high adequacy and efficiency of decisions made in a fuzzy environment is ensured.

Keywords: catalytic reforming unit, fuzzy information, operation mode control, decision making, optimality principles.

МРНТИ 44.29.31

https://doi.org/10.48081/CSPI8118

***С. Қ. Жұмақанов, Т. А. Садықбек**
Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье рассмотрены основные недостатки и преимущества эксплуатирующихся устройств релейной защиты (РЗ) выполненных на аналоговых электромеханических, статических и цифровых реле.

Ключевые слова: релейная защита (РЗ), короткое замыкание (КЗ), автоматическое повторное включение (АПВ), автоматический ввод резерва (АВР), цифровая защита.

Введение

Большинство ныне эксплуатирующихся устройств РЗ выполнены аналоговых электромеханических и статических реле, на долю цифровой РЗ приходится не более 10 %. Многолетняя статистика показывает, что высокий процент правильных действий аналоговой РЗ достигается благодаря большим трудозатратам на ее обслуживание. Наряду с этим для аналоговой РЗ характерны и некоторые существенные недостатки, которые препятствуют или существенно затрудняют комплексную автоматизацию энергосистем. К таким недостаткам относятся:

– Большое время устранения между фазных КЗ, особенно на головных участках, то есть вблизи источников питания, из-за высоких значений ступеней селективности, отсутствие в большинстве электроустановок ускорения РЗ после АПВ, отсутствие логической защиты шин;

– Невозможность выполнения многократных устройств АПВ, в том числе из-за указанного ранее отсутствия ускорения защиты после АПВ;

– Большие трудности выполнения автоматического отключения поврежденного участка бестоковую паузу с помощью управляемых разъединителей;

– Трудности в выполнении устройств для автоматического изменения уставок срабатывания РЗ при внезапном изменении режима питания электрической сети, что необходимо для сетей с двумя источниками питания и так называемым сетевым АВР;

– Отсутствие эффективной РЗ от однофазных замыканий на землю.

Материалы и методы

Одним из способов повышения надежности электроснабжения промышленных предприятий является применение цифровой релейной защиты. В современном цифровом устройстве могут быть совмещены многие функции: РЗ от всех видов повреждений и анормальных режимов работы электроустановок, АВР, автоматическое отделение поврежденного участка и других автоматических устройств управления в аварийном и послеаварийном режимах, измерение и запись электрических величин, оперативное и запрограммированное управление коммутационными аппаратами, определение места повреждения на аварийно отключившейся линий и т.д.

В настоящее время большинство фирм производителей прекращают электромеханических реле и устройств, переходят на цифровую элементную базу [1, 2, 3, 4].

Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов релейной защиты и электроавтоматики, а только расширяет ее функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные реле очень быстро занимают место электромеханических и микроэлектронных.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1–0,5 ВА, аппаратная погрешность в пределах 2–5 %, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96–0,98.

Мировыми лидерами в производстве устройств релейной защиты и автоматики являются европейские концерны ALSTOM, ABB и SIEMENS. Общим является все больший переход на цифровую технику. Цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют высокую стоимость, которая впрочем, окупается их высокими техническими характеристиками и многофункциональностью [1].

Современные цифровые устройства РЗА интегрированы в рамках единого информационного комплекса функций релейной защиты, измерения, регулирования и управления электроустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическими процессами энергетического объекта является оконченными устройствами сбора информации. В интегрированных цифровых комплексах РЗ появляется возможность перехода к новым нетрадиционным измерительным преобразователям тока и напряжения – на основе оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т.д. Эти преобразователи технологичнее при производстве, обладает очень высокими

метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность и непригодны для работы с традиционной аппаратурой.

Цифровые микропроцессорные комплексы РЗ являются интеллектуальными техническими средствами. Им присущи [2]:

– Многофункциональность и малые размеры(одно цифровое измерительное реле заменяет десятки аналоговых);

Дистанционные изменения и проверка уставок с пульта управления:

– Ускорение противоаварийных отключений и включений;

– Непрерывная самодиагностика и высокая надежность;

– Регистрация и запоминание параметров аварийных режимов;

– Дистанционная передача оператору информации о состоянии и срабатываниях устройств РЗ;

– Возможность вхождения и состав вышестоящих иерархических уровней автоматизированного управления;

– Отсутствие специального технического обслуживания – периодических проверок настройки и исправности.

Результаты и обсуждение

Устройства РЗ, выполненные на электромеханических, полупроводниковых и интегральных реле, несмотря на различные конструктивные варианты имеют одну общую особенность – жесткую логику. Эти устройства еще долго будут находить применение, особенно для защиты от простых повреждений, однако рано или поздно им на смену придет новое поколение защит с цифровой обработкой информации.

Цифровую РЗ отличают высокий уровень унификации элементов, гибкость, возможность реализации сложных алгоритмов выявления повреждений, развитая система функционального контроля, меньшие расходы на обслуживание. Информационное обеспечение цифровой РЗ основано на параметрах входных сигналов. К этим параметрам относятся амплитудны, фазовые сдвиги и частота, а также интегральные значения сигналов.

Помехи, вызванные переходными процессами и сопровождающиеся появлением апериодических и гармонических составляющих, обуславливают погрешности сигналов, снижаемые предварительной фильтрацией входных токов и напряжений.

Существует миф, что надежность МУЗ (Микропроцессорные устройства защиты) выше надежности ЭМРЗ (Электромеханическая релейная защита), поскольку МУЗ не содержит движущихся внутренних элементов [5]. Неисправность ЭМРЗ обычно связана со старением и повреждением изоляции электропроводки (износ, высыхание), коррозией винтов и клеммных зажимов, износом механических частей реле. Однако количество циклов работы (т. е. перемещения подвижных частей) за весь срок службы ЭМРЗ в реальных

условиях эксплуатации энергосистем не превышает нескольких сотен. Так что говорить о механическом износе подвижных деталей ЭМРЗ, при всей практичности, можно только в случае явных дефектов завода-изготовителя или использования для этих целей неподходящих материалов. Что касается коррозии металлических элементов или высыхания изоляции, то это следствие использования производителем реле некачественных материалов. Такие дефекты характерны для ЭМРЗ российского производителя и не относится к продукции ведущих западных компаний, эксплуатирующихся в течение 30-40 лет даже в условиях тропического климата [6]. Таким образом, говорить о недостаточном механическом ресурсе, как своего рода реле, совершенно необоснованно. С другой стороны, если подвижные элементы ЭМРЗ находятся в движении только в момент срабатывания реле, то тысячи электронных компонентов в МПД постоянно находятся в работе: генераторы сигналов, многочисленные транзисторные ключи, усилители, компараторы, таймеры, счетчики, логические элементы, стабилизаторы напряжения, постоянно работают.; микропроцессор постоянно обменивается сигналами с элементами памяти, аналого-цифровой преобразователь постоянно ведет обработку входных сигналов и т. д. Многие элементы постоянно находятся под воздействием высоких рабочих напряжений (120–250 В) и скачков напряжения, которые периодически возникают во входных цепях и цепях внешнего питания; а также постоянного рассеивания мощности (то есть они нагреваются) и т. д. При особо тяжелых работах в условиях МУЗ коммутационные источники питания очень часто являются причиной неисправности МУЗ.

Есть еще один миф о том, что надежность полупроводниковых (твердотельных) реле на дискретных компонентах выше, чем надежность электромеханических реле [7]. Надежность электронных защитных устройств на основе интегральных микросхем (ИС) с высокой степенью интеграции выше, чем надежность устройств на дискретных электронных компонентах [7]. Надежность микропроцессорных реле выше, чем надежность электронных непроцессорных устройств. Безусловное утверждение о большей надежности полупроводниковых реле по сравнению с электромеханическими реле является распространенной ошибкой [8]. Полупроводниковые реле обладают повышенной надежностью только при очень большом числе циклов коммутации (сотни тысяч, миллионы) или при высоких частотах коммутации. Во многих других случаях надежность полупроводниковых реле существенно ниже, чем электромеханических [9].

Дискретные электронные элементы обладают гораздо большей способностью выдерживать скачки напряжения и другие неблагоприятные воздействия, чем интегральные микросхемы [10]. Согласно [11] 75 % всех повреждений микропроцессорных устройств являются результатом

воздействия скачка напряжения. Скачки напряжения с амплитудами от десятков вольт до нескольких киловольт, возникающие в результате коммутационных переходных процессов в цепях [12] или воздействия электростатических разрядов, являются «фатальными» для внутренних микросхем и процессорных микроэлементов. Согласно [11] обычные транзисторы (дискретные элементы) могут выдерживать напряжение электростатических разрядов почти в 70 раз выше, чем, например, микросхема памяти (EPROM) в микропроцессорной системе. Наиболее катастрофическими из временных отказов, вызванных электромагнитными помехами, возникающими в работе микропроцессора, могут быть временные [13], такие как спонтанные изменения содержимого оперативной памяти (ОЗУ) и регистров, а внутренние повреждения могут носить латентный характер [14]. Такого рода повреждения не выявляются ни в каких испытаниях и могут проявиться в самые неожиданные моменты.

В работе [15] отмечается, что в связи с низкой устойчивостью к переходным процессам и скачкам напряжения МУЗ предъявляют особенно жесткие требования к уровню защиты от электромагнитных воздействий. Попытки использования МУЗ без усиленной электромагнитной защиты часто приводят к их неисправности [16, 17]. Электронные устройства с дискретными компонентами содержат меньше компонентов, чем аналогичные устройства на ИС, рис. 1. Это, по-видимому, не способствует повышению надежности ИС.

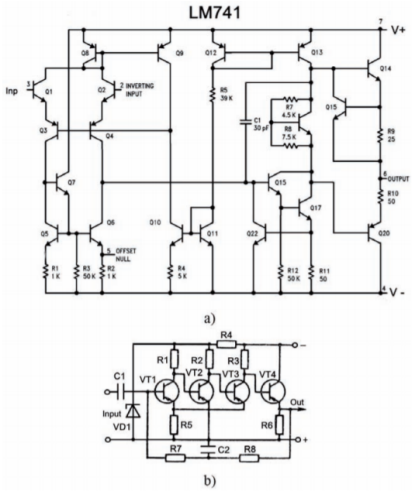


Рисунок 1 – Принципиальные схемы двух усилителей: вверху широко используется ИС типа LM741, содержащая 20 транзисторов; внизу – усилитель на дискретных элементах с одинаковыми параметрами, содержащий всего 4 транзистора

Статистика повреждений элементов МУЗ, собранная инженерами некоторых производителей МУЗ, таб. 1 [16], весьма убедительно опровергает миф о более высокой надежности ИС.

Таблица 1 – Статистические данные о повреждениях МУЗ, основанные на исследованиях ведущих японских компаний [16]

Виды отказов	Причины отказов	Количество отказов	%
Отказы сборки	Плохие контакты проводки и включение посторонних элементов	8	4,3
	Пайка	11	5,9
Отказы деталей	другие детали (резисторы,разъемы и т. д.)	12	6,4
	Конденсаторы	10	5,3
	транзисторы,диоды и фотоэлементы	13	7,0
	кристаллический генератор	16	8,5
	вспомогательное реле	18	9,6
	Микросхемы	99	53
	СУММА	187	100

По статистике, представленной в [7], чрезвычайно заметно, что защитные реле с электронными элементами имеют в три раза большую повреждаемость, чем электромеханические реле, а микропроцессорные реле-в 50 раз большую!

Надежность микропроцессоров таких производителей, как Intel и AMD, может быть на самом деле очень высокой, и на самом деле микропроцессор, хотя и не большой, является очень важной частью МУЗ, которая содержит очень много микросхем. В [17] утверждается, что основная процессорная часть (то есть печатная плата с микропроцессором, памятью, аналого-цифровым преобразователем, библиотекой программ и всеми вспомогательными элементами) МУЗ наиболее подвержена неисправностям.

Другой удар по микросхемам заключается не только в физическом повреждении микропроцессора, но и в отказах программного обеспечения – повреждениях, ранее не известных для электромеханических и электронных реле. Как отмечается в работе [17], программные ошибки не всегда обнаруживаются при тестировании МУЗ. Дополнительным источником проблем является необходимость периодического обновления версий программ МУЗ. Часто в ходе этого процесса возникают несовместимости программного и аппаратного обеспечения [17]. Такие проблемы могут проявиться в самые неожиданные моменты и привести к очень тяжелым

последствиям для электросети. Как известно, одной из причин крупнейших сбоев в системе электроснабжения США и Канады, произошедших в августе 2003 года, была компьютерная проблема, «отставание» компьютерной системы управления в энергокомпании «First Energy» [18].

Цифровые РЗ имеют следующие преимущества по сравнению с традиционными РЗ, выполненными на электромеханических и статических реле:

– Надежность, быстродействие, непрерывные автоматические контроль исправности и диагностики;

– Возможность реализации более сложных и совершенных алгоритмов управления, удобство настройки, наладки и эксплуатации;

– Возможность осциллографирования и запоминания параметров аварийных процессов;

– Интеграция (объединение) систем оперативного и автоматического управления, позволяющая создать терминал в пределах одного защищаемого объекта;

– Практически полное отсутствие зависимости работы цифровых РЗ от обслуживающего персонала, за исключением тех случаев, когда при реализации сложных алгоритмов требуется соответствующая квалификация персонала для правильного выбора параметров срабатывания цифровых РЗ;

– Низкое потребление по входным цепям тока и напряжения, что снижает нагрузку на ТТ и ТН, позволяет использовать современное оборудование для автоматизированной проверки цифровых РЗ;

– Возможность реализации качественно новых защитных функций.

Цифровая РЗ обладает рядом уникальных достоинств, среди которых наиболее значимым является автоматическая непрерывная самодиагностика, которая обеспечивает высокую надежность срабатывания этих РЗ и позволяет существенно сократить объемы и сроки периодических профилактических проверок защитных устройств.

Цифровые защиты обеспечивают более быстрое отключение участков с КЗ, чем электромеханические защиты. Для электрооборудования цифровая РЗ позволяет осуществить так называемые профилактические защиты от опасных ненормальных режимов, предотвращающие возникновение КЗ. Применение цифровой РЗ снижает ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям и затраты на обслуживание и ремонт электрооборудования.

В цифровой РЗ предусмотрена возможность получения информации о токах и напряжениях защищаемого элемента как от традиционных электромагнитных трансформаторов тока и напряжения, так и от малогабаритных воздушных трансформаторов(датчиков) типа катушки Роговского. Отсутствие в указанных датчиках нелинейного ферромагнитного сердечника(магнитопровода) обусловливает малую погрешность преобразования первичных величин

во вторичные и широкий диапазон изменения первичных значений тока. Основными недостатками катушки Роговского являются малая выходная мощность и низкий уровень выходного сигнала, что служит препятствием при согласовании с электромеханическими реле.

Наряду с достоинствами у цифровой РЗ имеются недостатки: малая помехоустойчивость, слабый выходной сигнал, что делает необходимым применение специальных усилителей, а также использование промежуточных электромеханических реле для связи с приводом выключателя.

Переход на цифровые устройства в РЗ, а точнее на цифровые способы обработки информации не привел к появлению новых принципов построение защиты электрооборудования, но существенно улучшил эксплуатационные качества реле.

Самоконтроль значительно повысил надежность надёжность цифровых РЗ, так как появилась возможность своевременно оповещать персонал об отказах в аппаратной и программной частях, что позволяет принимать немедленные меры по восстановлению работоспособности РЗ.

Появление цифровых устройств РЗ не означает полный отказ от использования традиционных электромеханических устройств. Там, где последние обеспечивают требуемые чувствительность, быстродействие, надежность и избирательность, их надо применять в полной мере, так как электромеханические устройства РЗ более экономичны и просты. Кроме того, накоплен большой опыт по их обслуживанию.

Выводы

Опыт применение цифровых устройств позволяет сделать вывод о том, что затраты на установку и эксплуатацию этих устройств окупаются в течении нескольких лет только лишь за счет снижения ущерба у потребителей и, следовательно, из-за недоотпуска электроэнергии, уменьшение расходов на компенсацию этого ущерба со стороны электроснабжающей организации. Использование цифровых устройств РЗ дает дополнительный экономический эффект благодаря существенному снижению расходов на обслуживание РЗ, уменьшению размера повреждения электроустановок за счет быстрого устранения КЗ и осуществления противоаварийной защиты электрооборудования от опасных анормальных режимов.

Список использованных источников

1 **Киреева, Э. А., Цырук С. А.** Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Учебник для студентов [Текст]. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.

2 **Шабад, М. А.** Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле [Текст]. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2000. – № 9 (21).

3 **Садыкбек, Т. А.** Режимы систем промышленного электроснабжения с электродвигательной нагрузкой: учебное пособие [Текст]. – Алматы : КазАТК, 2010. – 163 с.

4 **Садыкбек, Т. А., Сагитов, П. И.** Электромеханика и электромеханическое оборудование: учебно-методическое пособие [Текст]. – Алматы. : КазАТК, 2012. – 290 с.

5 **Projjalkumar, R.** Is the Era of Electromechanical Relays Over? [Text]. – Frost & Sullivan Market Insight, 2004.

6 **Gurevich, V.** Microprocessor-based Relay of Protection: An Alternative View [Text] // Electro-info. – 2006. – № 4.

7 **Heising, C. R., Patterson R. C.** Reliability Expectations for Protective Relays [Text]. – Developments in Power Protection-Fourth International Conference in Power Protection, 1989. – P. 23–26.

8 **Mahaffey, T. R.** Electromechanical Relays Versus Solid-State: Each Has Its Place [Text]. – Electronic Design, 2002. – P. 44.

9 Electromechanical vs. Solid State Relay Characteristics Comparison, Application Note 13c3235 [Text]. – Tyco Electronics.

10 **Gurevich, V.** Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering [Text]. – Boca Raton-New York-London: CRC Press, 2008.

11 **Clark, O. M., Gavender R. E.** Lighting Protection for Microprocessor-based Electronic Systems [Text]. – IEEE Transactions on Industry Applications. – 1990. Vol. 26. – № 5. – P. 197–203.

12 **Uchimura, K., Michida, J., Nozu, S., Aida T.** Multifunction of Digital Circuits by Noise Induced in Breaking Electric Contacts [Text]. – Electronics and Communications in Japan. – 2007. Vol. 72, – № 6.

13 **Henderson, I.A., McGhee, J., Szaniawski, W., Domaradzki P.** Incorporating High Reliability into the Design of Microprocessor-based Instrumentation [Text]. – Science, Measurement and Technology: IEE Proceedings A. – 1991. Vol. 138. – № 2. – P. 105–112.

14 **Phadke, A. G.** Hidden Failures in Electric Power Systems [Text]. – International Journal of Critical Infrastructures. – 2004. Vol. 1. – № 1. – P. 64–75.

15 **Kovalev, B. I., Naumkin, I. E.** The Main Problems of Electromagnetic Compatibility of Secondary Circuits in High-voltage Substations [Text]. – Moscow : Relay Protection and Automatics of Power Systems Conference, 2002.

16 **Matsuda, T. , Kovayashi, J., Itah, H., Tanigushi, T., Seo, K., Hatata, M., Andow, F.** Experience with Maintenance and Improvement in Reliability of

Microprocessor-based Digital Protection Equipment for Power Transmission Systems [Text]. – CIGRE, 1992.

17 **He, S., Shen, L., Lui, J.** Analyzing Protective Relay Misoperation Data and Enhancing Its Correct Operation Rate, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific [Text]. – 2005. – P. 1–5.

18 Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, Tech. rep., U.S. – Canada Power System Outage Task Force, 2004.

References

1 **Kireeva, E. A., Cyruk S. A.** Releinaya zaschita i avtomatika electroenerugeticheskih sistem: Uchebnik dlya studentov [Relay protection and automation of electric power systems: Textbook for students] [Text]. – M. : Izdatelskii centr «Akademiya», 2010. – 288 p.

2 **Shabad, M. A.** Avtomatizaciya raspredelitelnyh electricheskih setei s ispolzovaniem cifrovyh releeле [Automation of electrical distribution networks using digital relays] [Текст]. – M. : NTF «Energoprogress», 2000. – № 9 (21).

3 **Sadykbek, T. A.** Rezhimy system promyshlennogo electrosnabzheniya s electrodvigatelnoi nagruzkoi: uchebnoe posobie [Modes of industrial power supply systems with electric motor load: textbook] [Text]. – Almaty : KazATC, 2010. – 163 p.

4 **Sadykbek, T. A., Sagitov, P. I.** Electromehanika i electromehanicheskoe oborudovanie: uchebno-metodicheskoe posobie [Electromechanics and electromechanical equipment: educational and methodical manual] [Text]. – Almaty: KazATC, 2012. – 290 p.

5 **Projjalkumar, R.** Is the Era of Electromechanical Relays Over? [Text]. – Frost & Sullivan Market Insight, 2004.

6 **Gurevich, V.** Microprocessor-based Relay of Protection: An Alternative View [Text] // Electro-info. – 2006. – № 4.

7 **Heising, C. R., Patterson R. C.** Reliability Expectations for Protective Relays [Text]. – Developments in Power Protection-Fourth International Conference in Power Protection, 1989. – P. 23–26.

8 **Mahaffey, T. R.** Electromechanical Relays Versus Solid-State: Each Has Its Place [Text]. – Electronic Design, 2002. – P. 44.

9 Electromechanical vs. Solid State Relay Characteristics Comparison, Application Note 13c3235 [Text]. – Tyco Electronics.

10 **Gurevich, V.** Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering [Text]. – Boca Raton-New York-London: CRC Press, 2008.

11 **Clark, O. M., Gavender R. E.** Lighting Protection for Microprocessor-based Electronic Systems [Text]. – IEEE Transactions on Industry Applications. – 1990. Vol. 26. – № 5. – P. 197–203.

12 **Uchimura, K., Michida, J., Nozu, S., Aida T.** Multifunction of Digital Circuits by Noise Induced in Breaking Electric Contacts [Text]. – Electronics and Communications in Japan. – 2007. Vol. 72, – № 6.

13 **Henderson, I.A., McGhee, J., Szaniawski, W., Domaradzki P.** Incorporating High Reliability into the Design of Microprocessor-based Instrumentation [Text]. – Science, Measurement and Technology: IEE Proceedings A. – 1991. Vol. 138. – № 2. – P. 105–112.

14 **Phadke, A. G.** Hidden Failures in Electric Power Systems [Text]. – International Journal of Critical Infrastructures. – 2004. Vol. 1. – № 1. – P. 64–75.

15 **Kovalev, B. I., Naumkin, I. E.** The Main Problems of Electromagnetic Compatibility of Secondary Circuits in High-voltage Substations [Text]. – Moscow : Relay Protection and Automatics of Power Systems Conference, 2002.

16 **Matsuda, T. , Kovayashi, J., Itah, H., Tanigushi, T., Seo, K., Hatata, M., Andow, F.** Experience with Maintenance and Improvement in Reliability of Microprocessor-based Digital Protection Equipment for Power Transmission Systems [Text]. – CIGRE, 1992.

17 **He, S., Shen, L., Lui, J.** Analyzing Protective Relay Misoperation Data and Enhancing Its Correct Operation Rate, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific [Text]. – 2005. – P. 1–5.

18 Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, Tech. rep., U.S. – Canada Power System Outage Task Force, 2004.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

С. Қ. Жұмақанов, Т. А. Садықбек

Электрмен жабдықтау жүйелерінің релелік қорғаныс және автоматика құрылғыларын талдау

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

S. K. Zhumakanov, T. A. Sadykbek

Analysis of relay protection and automation devices of power supply systems

Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

Мақалада аналогтық электромеханикалық, статикалық және сандық релелерде жасалған релелік қорғаныс (РҚ) құрылғыларының негізгі кемшіліктері мен артықшылықтары қарастырылған.

Кілтті сөздер: релелік қорғаныс (РҚ), қысқа тұйықталу (ҚТ), автоматты қайта қосу (АҚҚ), резервті автоматты енгізу (РАЕ), цифрлық қорғау.

The main disadvantages and advantages of the operated relay protection devices (RP) on analog electromechanical, static and digital relays are considered in the article.

Key words: relay protection, short circuit, automatic reclosing, automatic reserve input, digital protection.

МРНТИ 44.29.31

https://doi.org/10.48081/JKLN9238

Д. Д. Исабеков, О. М. Талипов
Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

РЕАЛИЗАЦИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ НА ГЕРКОНАХ

В настоящей статье авторы рассматривают примеры реализации токовых защит с использованием магнитоуправляемых контактов – герконов для электроустановок с комплектными распределительными устройствами (КРУ). Представленные защиты используются вместо или дублируют традиционные защиты, выполненных с использованием трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками и по сути являются ресурсосберегающими, а проблема создания устройств релейной защиты электроустановок от коротких замыканий без применения металлоемких трансформаторов тока (ТТ), неоднократно отмечалась на международных конференциях по большим энергетическим системам (СИГРЭ).

Само же создание таких устройств, начатое еще во второй половине прошлого столетия, остается актуальным и сегодня. Для повышения надёжности релейной защиты необходимо дублирование, как трансформаторов тока, так и защиты, от которых они получают информацию. Оптимальным решением построения устройств релейной защиты без ТТ является использование герконов, имеющих известные преимущества в сравнении с другими магниточувствительными элементами. За два десятилетия 21 века разработан ряд устройств, действие которых основано на срабатывании геркона, помещенного вблизи токоведущих шин электроустановки, предлагающих совершенно иной подход в реализации релейной защиты.

Ключевые слова: геркон, устройство, токовая защита, ячейка.

Введение

Принципиально нерешенной проблеммой в области электроэнергетики считается построение релейной защиты высоковольтных электроустановок без использования традиционных трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками, о чем не раз упоминалось на международных конференциях по

большим энергетическим системам (CIGRE) [1–2]. Данные трансформаторы тока весьма металлоемки и громоздки, имеют дорогую изоляцию и другие присущие им недостатки [3]. Герконы же в свою очередь, как известно обладают рядом важных для релейной защиты преимуществами по сравнению с другими магниточувствительными элементами [4–7]. Доказательством этому являются известные разработанные принципы построения токовых, дифференциальных и дифференциально-фазных защит [7]. При всем при этом для целого ряда электроустановок, в том числе подключенных к комплектным распределительным устройствам еще не рассматривались вопросы, касающиеся самой возможности использования герконов для построения сказанных выше защит, их установки вблизи токоведущих шин на безопасном расстоянии и уставок срабатывания защит, оценки их чувствительности и работоспособности [8–10].

Объект исследования: релейная защита электроустановок, подключенных к ячейкам комплектных распределительных устройств

Предмет исследования: релейная защита и автоматика систем электроснабжения.

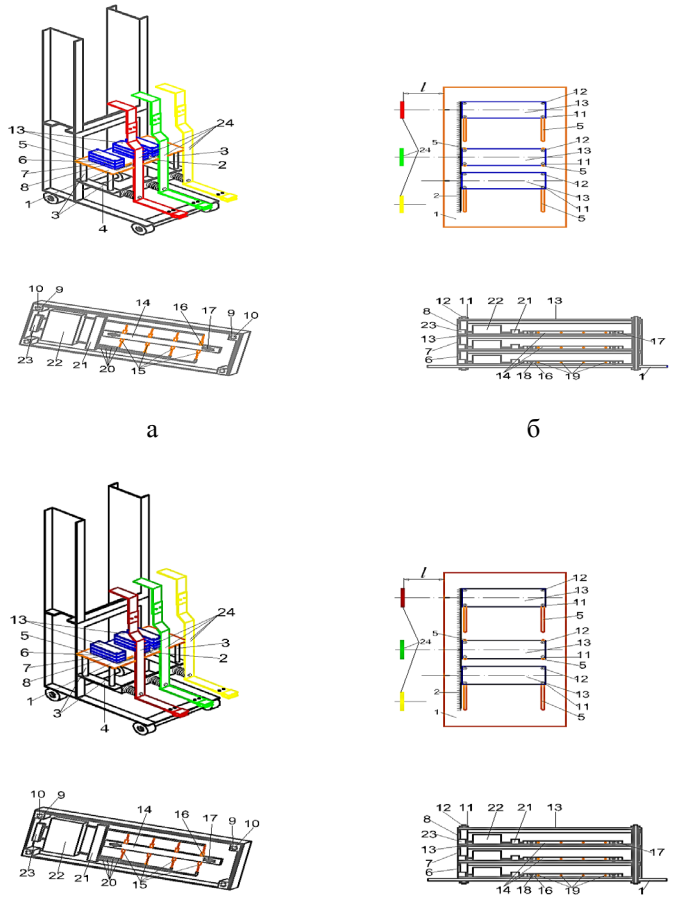
Цель: построение релейной электроустановок, подключенных к ячейкам КРУ на основе герконов.

Назначение: использование вместо традиционно используемых на производстве устройств максимальных токовых защит.

Методы и результаты исследования: тщательная проработка научных статей и патентов по данной тематике в результате исследования позволила предложить новый тип реализации токовых защит, предназначенных для защиты различных электроустановок.

Результаты и обсуждение

Токовая защита электроустановок, подключенных к ячейке КРУ. Рассматриваемая защита, представленная в виде устройства, изображено на рисунке 1, размещается в ячейке КРУ и в своем составе содержит общую пластину 1 со шкалой 2, четыре стойки 3, скрепляющие пластину 1 со шкалой 2 с рамой 4 выкатной тележки ячейки (рис. 1а). В самой пластине 1 вырезаны пазы 5 (рис. 1б), в которых крепятся для каждой из токоведущих шин по три коробки 6, 7, 8 в виде прямоугольных параллелопипедов со стойками 9 с отверстиями 10 по его углам (рис. 1в), поставленные друг на друга и скрепленные между собой и пластиной 1 гайками 11 и шпильками 12 (рис.1г), вставленными в отверстия 10 и пазы 5 в пластине 1, по крышке 13 для каждой из коробок, причем каждая из пластин 14 с герконами 15, включая первую, вторую и третью, имеет пазы 16 для крепления на дне соответствующей коробки болтами 17 в отверстиях 18, и отверстия 19, внутри которых закреплены герконы 15, сигнал о срабатывании



а б в г

а – конструкция для крепления герконов, размещённая на раме выкатной тележки ячейки; б – вид сверху на общую пластину с коробками; в – вид сверху на коробку (без крышки) с расположенной внутри неё пластины с герконами; г – закрепленные друг над другом коробки в виде прямоугольных параллелепипедов (вид справа в разрезе)

Рисунок 1 – Токовая защита электроустановок, подключенных к ячейке КРУ

которых (замыкании их контактов) передается по соединительным проводам 20 через соединительный клеммник 21 (рис.1в,г) на время задающий

орган 22, где он обрабатывается и через выводной клеммник 23 подается на исполнительный орган.

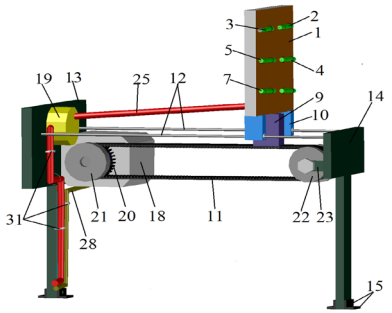
Использование токовой защиты заключается в выставлении её параметров срабатывания от коротких замыканий и для этого необходимо: перемещать пластину 14 с герконами перпендикулярно токоведущим шинам 24 (при этом само устройство располагается на безопасном расстоянии *l* от токоведущих шин 24) (рис.1а), перемещать коробки 6, 7 и 8 вдоль пазов 5, фиксируя эти перемещения по шкале 2. Для обеспечения полным комплектом защит, к примеру мощного электродвигателя, есть необходимость от четырех до двенадцати герконов на фазу (при использовании принципа мажорирования). Расстояние для перемещения пластин 14 с герконами 15 и коробок 6, 7 и 8 рассчитывается теоретически для точной настройки параметров токовой защиты.

Универсальная токовая защита для различных электроустановок. Представленная токовая защита является универсальной и может располагаться в ячейке любой серии, внутри токопроводов и использоваться для защиты любого электрооборудования. Универсальная токовая защита представляет из себя устройство, в основе своем состоящее из трех блоков крепления герконов. В состав каждого блока входит пластина 1, на наружной стороне которой закреплены шесть герконов 2÷7 под разными углами к плоскости поперечного сечения токоведущей шины 8 (рис. 2). Пластина 1 прикреплена к центральному 9 и боковым 10 держателям. Держатель 9 прикреплен к зубчатому ремню 11 с возможностью перемещения по нему относительно токоведущей шины 8. Держатели 10 прикреплены к ходовым осям 12. Концы осей 12 прикреплены к первой 13 и второй 14 поддерживающим стойкам, закрепленным на нижнем основании кабельного отсека ячейки КРУ, с применением крепёжного уголка 15, шурупов 16 и болтового соединения 17. На стойке 13 закреплены шаговый электродвигатель 18 и сматывающий механизм 19. К электродвигателю 18 прикреплены зубчатый шкив 20 и муфта 21. На стойке 14 закреплён зубчатый шкив 22 с помощью крепёжной пластины 23. На шкивы 20 и 22 надет зубчатый ремень 11 (рис.2а). Один из контактных сердечников герконов 2÷7 подключен к времязадающему органу 24 с помощью кабеля 25, который закреплен одним концом на пластине 1, проложен по воздуху до механизма 19, от него по стойке 13, далее по нижнему основанию кабельного отсека и заводится в пластмассовый рукав 26, проложенный по нижнему основанию и задней стенке данного отсека до времязадающего органа 24, к которому подключается другой конец кабеля 25 (рис.2б). Другой контактный сердечник герконов 2÷7 с помощью кабеля 25 подключается к выходу автоматического выключателя 27 со знаком «плюс». Шаговый электродвигатель 18 с помощью кабеля 28 подключен к панели 29 с сенсорным дисплеем 30. Кабель 28

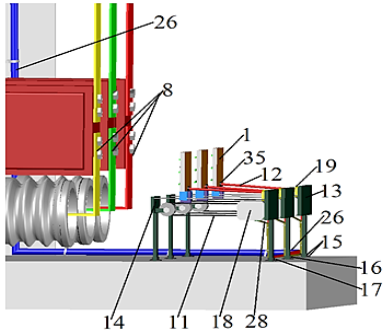
проложен по стойке 13, проходит по нижнему основанию кабельного отсека и заводится в пластмассовый рукав 26. Кабели 25 и 28 и пластмассовый рукав 26 крепятся к стойке 13, нижнему основанию и стенке кабельного отсека с помощью пластмассовых хомутов 31. Первый и второй входы панели 29 управления с помощью проводов 32 подключены к выходам выключателя 27 со знаками «плюс» и «минус» (рис.2в). Исполнительный орган 33 с помощью проводов 34 одним входом подключен к выходу времязадающего органа 24, а другим – к выходу автоматического выключателя 27 со знаком «минус». Для уплотнения и герметизации входов и выходов пластины 1, времязадающего органа 24, панели 29 управления и органа 33 используются резиновые прокладки: 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41.

Работу представленного устройства можно рассмотреть на примере защиты электродвигателя, подключенного к ячейке. Защита выполняется с помощью одного из 6 герконов, имеющих при этом разные МДС и расположенных в плоскости поперечного сечения токоведущей шины 8. Рассчитываются уставки универсальной токовой защиты и выбирается геркон – к примеру геркон 2. Данный геркон 2 располагают под углом 0^0 относительно плоскости поперечного сечения токоведущей шины 8. Затем в кабельный отсек на безопасном расстоянии- 120 мм. от токоведущих шин 8 устанавливают три блока крепления герконов, прокладывая кабели 25 и 28 в рукав 26. В шкафу защиты размещают и подключают времязадающий орган 24, выключатель 27, панель 29 и исполнительный орган 33. Далее включают выключатель 27, подавая питание на все элементы рассматриваемого устройства. На сенсорном дисплее 30 панели 29 высвечивается расстояние от токоведущих шин 8, на котором на данный момент находится пластина 1, к примеру 200 мм, а по расчетам необходимо 108 мм.

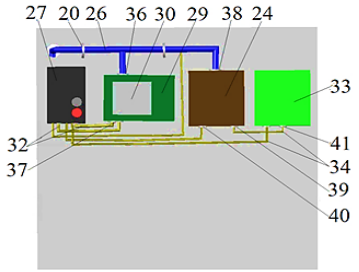
Далее нажатием виртуальной кнопки «Вперед» (на чертеже не показана) на дисплее 30 запускают электродвигатель 18, который перемещает пластину 1 ближе к токоведущим шинам 8. При перемещении пластины 1 длина первого соединительного кабеля 25 во избежании его провеса фиксируется с помощью сматывающего механизма 19. После того как на дисплее 30 высветится значение расстояния, равного 180 мм, отпускают кнопку «Вперед». При этом геркон 2 будет установлен на необходимом расстоянии от токоведущих шин 8. Аналогично настраивают остальные блоки крепления с герконами. При возникновении короткого замыкания на выводах



а



б



в

а – блок для крепления герконов; б – расположение блоков для крепления герконов в кабельном отсеке; в – расположение панели управления, времязадающего и исполнительного органа в шкафу защиты ячейки

Рисунок 2 – Универсальная токовая защита для различных электроустановок

защищаемого электродвигателя, ток в токоведущих шинах 8 становиться больше тока срабатывания защиты. Вследствие чего геркон 2 замыкает свои контакты и подаёт сигнал на вход блока 24, который через выдержку времени подает сигнал на вход исполнительного органа 33.

Выводы

Представленные устройства, выполненные на герконах, обеспечивают необходимое регулирование уставок токовых защит, с возможностью изменять уставки, в том числе и дистанционно без отключения защищаемой электроустановки. Данные устройства, при внедрении их в технику релейной защиты позволят на вновь строящихся объектах значительно сэкономить

высококачественные сталь, медь и изоляционные материалы, а на имеющихся при дублировании еще и повысить надежность всей системы релейной защиты.

Список использованных источников

1 **Дьяков, А. Ф.** Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по матер. 39-й сессии СИГРЭ, Париж) // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4. – С. 7–16.

2 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского // Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. докл. междунар. науч.-технич. конф. – М. : Научно-инженерное информационное агентство, 2009. – С. 39–48.

3 **Казанский, В. Е.** Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.

4 **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

5 **Шнеерсон, Э. М.** Цифровая релейная защита. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

6 **Чернобровов, Н. В., Семенов, В. А.** Релейная защита энергетических систем. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.

7 **Клецель, М. Я., Мусин, В. В.** О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока // Электротехника. – 1987. – № 4. – С. 11–13.

8 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.

9 Патент 34420 Республики Казахстан, МПК G01R 33/02. Установка для исследования электромагнитного поля внутри комплектного распределительного устройства / Исабеков Д. Д.; заявл. 18.04.2018; опубл. 26.06.2020, бюл. № 25.

10 Патент 34422 Республики Казахстан, МПК H02H 3/08. Устройство для газовой защиты трансформатора на магнитоуправляемых контактах / Исабеков Д. Д.; заявл. 08.01.2018; опубл. 26.06.2020, бюл. № 25.

References

1 **D`yakov, A. F.** E`lektroe`nergetika mira v nachale XXI stoletiya [Dyakov, A. F. Electric power industry of the world at the beginning of the XXI century] (po mater. 39-j sessii SIGRE`, Parizh) // E`nergetika za rubezhom. – 2004. – № 4. – S. 7–16.

2 **Kozhovich, L. A., Bishop, M. T.** Sovremennaya relejnaya zashhita s datchikami toka na baze katushki Rogovskogo [Kozhovich L. A., Bishop M. T. (Cooper Power Systems, USA). Modern relay protection with current sensors based

on the Rogowski coil] // Sovremenny`e napravleniya razvitiya relejnoj zashhity` i avtomatiki e`nergosistem: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-texnich. konf. – M. : Nauchno-inzhenernoe informacionnoe agentstvo, 2009. – S. 39–48.

3 **Kazanskij, V. E.** Izmeritel`ny`e preobrazovateli toka v relejnoj zashhite. [Kazansky V. E. Measuring current transducers in relay protection] – M. : E`nergoatomizdat, 1988. – 240 s.

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

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

6 **Chernobrovov, N. V., Semenov, V. A.** Relejnaya zashhita e`nergeticheskix sistem. [Chernobrovov N. V., Semenov V. A. Relay protection of power systems] – M. : E`nergoatomizdat, 1998. – 800 s.

7 **Klecel`, M. Ya., Musin, V. V.** O postroenii na gerkonax zashhit vy`sokovol`tny`x ustanovok bez transformatorov toka [Kletsel M. Ya. Musin V. V. About the construction of high-voltage installations on reed switches without current transformers] // E`lektrotexnika. – 1987. – № 4. – S. 11–13.

8 Patent № 2704792 Rossijskoj Federacii, MPK N02N 3/08. Ustrojstvo dlya tokovoj zashhity` e`lektroustanovki [Patent 2704792 of the Russian Federation, IPC H02H 3/08. Device for current protection of electrical installations] / M. Ya. Klecel`, D. D. Isabekov, A. P. Kislov, I. I. Sholoxova; opubl. 31.10.19, byul. №31.

9 Patent 34420 Respubliki Kazaxstan, MPK G01R 33/02. Ustanovka dlya issledovaniya e`lektromagnitnogo polya vnutri komplektnogo raspredelitel`nogo ustrojstva [Patent 34420 of the Republic of Kazakhstan, IPC G01R 33/02. Installation for the study of the electromagnetic field inside the complete switchgear] / Isabekov D. D.; zayavl. 18.04.2018; opubl. 26.06.2020, byul. № 25.

10 Patent 34422 Respubliki Kazaxstan, MPK H02H 3/08. Ustrojstvo dlya gazovoj zashhity` transformatora na magnitoupravlyaemy`x kontaktax [Patent 34422 of the Republic of Kazakhstan, IPC H02H 3/08. Device for gas protection of a transformer on magnetically controlled contacts] / Isabekov D. D.; zayavl. 08.01.2018; opubl. 26.06.2020, byul. № 25.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Д. Д. Исабеков, О. М. Талипов

Геркондағы ток қорғанысын жүзеге асыру

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

D. D. Issabekov, O. M. Talipov

Realization of current protection on reed switches

Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 19.03.21.

Бұл мақалада авторлар магниттік басқарылатын контактілерді –геркондарды электрлік қондырғыларға арналған жинақты электр құрылғырына (КРУ) қолдана отырып, токтан қорғауды жүзеге асырудың мысалдарын қарастырады. Ұсынылған қорғаныс ферромагниттік өзектері бар ток трансформаторларын қолдана отырып жасалған дәстүрлі қорғаныс құралдарының орнына қолданылады, немесе олардың көшірмелерін жасайды, сонымен қатар ресурстарды үнемдейді, ал қысқа тұйықталудан электр қондырғылары үшін релелік қорғаныс құрылғыларын құру проблемасы – металл тұтынатын ток трансформаторларын (ТТ) ірі энергетикалық жүйелер бойынша халықаралық конференцияларда (CIGRE) бірнеше рет атап өтілді. Өткен ғасырдың екінші жартысында басталған осындай құрылғыларды жасаудың өзі бүгінгі күні өзекті болып қала береді. Релелік қорғаныстың сенімділігін арттыру үшін ток трансформаторларын да, олар ақпарат алатын қорғауды да қайталау қажет. ТТ-сыз релелік қорғаныс құрылғыларын салудың оңтайлы шешімі – басқа магниттік сезімтал элементтермен салыстырғанда белгілі артықшылықтары бар герконды пайдалану. XXI ғасырдың екі онжылдығында бірқатар қондырғылар жасалды, олардың жұмысы электр қондырғысының ток шинаның жанына орналастырылған геркондары іске қосылуына негізделген және релелік қорғаныс іске асыруға мүлде басқа көзқарас ұсынады.

Кілтті сөздер: геркон, құрылғы, ток қорғанысы, ұяшық.

In this article, the authors consider examples of the implementation of current protection using magnetically controlled contacts – reed switches for electrical installations with complete switchgears (KRU). The presented protections are used instead of or duplicate traditional protections made using current transformers with ferromagnetic cores and are essentially resource-saving, and the problem of creating relay protection devices for electrical installations from short circuits without the use of metal-consuming current transformers (CTs) has been repeatedly noted at international conferences on large energy systems (CIGRE). The very creation of such devices, which began in the second half of the last century, remains relevant today. To

increase the reliability of relay protection, it is necessary to duplicate both current transformers and the protection from which they receive information. The optimal solution for the construction of relay protection devices without CTs is the use of reed switches, which have known advantages in comparison with other magnetically sensitive elements. For two decades of the 21st century, a number of devices have been developed, the operation of which is based on the actuation of a reed switch placed near the current-carrying buses of an electrical installation, offering a completely different approach to the implementation of relay protection.

Keywords: reed switch, device, overcurrent protection, cell.

МРНТИ 68.85.39

https://doi.org/10.48081/GMMX1323

***Р. М. Искаков, М. Г. Мулдашева**

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

ЭНЕРГОЕМКИЙ МОЛОТОК ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСОКОСТНОГО СЫРЬЯ

В статье рассматриваются исследования по разработке молотка для энергоемкого измельчения мясокостного сырья. Описывается разработанная конструкция молотка с острозубчатыми стержнями различной длины по двум рабочим поверхностям прямоугольного молотка, которая позволяет снизить энергоемкость процесса измельчения, повысить работоспособность устройства для измельчения, улучшить качество и интенсивность измельчения. Применение острозубчатых стержней молотков на 7–9 % увеличивает производительность мясокостной кормовой муки по сравнению с плоскими молотками, что связано больше всего за счет дополнительного раскалывания мясокостного сырья острыми зубьями стержней молотков, образующих интенсивное трещинообразование и раскол в частицах мясокостного сырья.

Ключевые слова: энергоемкость измельчения, острозубчатый молоток, трещинообразование, мясокостное сырье.

Введение

В современных условиях Казахстана приоритетным является создание условий для развития собственного производства. Казахстан, как страна с высоким потенциалом развития животноводства, птицеводства и рыбоводства имеет огромные возможности для развития переработки животноводческой продукции (животного и водного происхождения) [1–5]. Перспективным является массовая переработка сырья мясокостных отходов, используемых в основном для производства кормов. При этом для переработки отходов мысокостного сырья содается острая необходимость в его измельчении. Существенным и актуальным вопросом при этом становится разработка новых и энергоэффективных ударных элементов устройств для измельчения.

Объект исследования: ударные элементы дробилок – молотки.

Предмет исследования: нахождение эффективных путей усовершенствования молотков для более энергоемкого измельчения мясокостного сырья.

Цель: разработка нового и энергоэффективного молотка для измельчения, способствующего получению качественно измельченной продукции с повышенными технико-экономическими показателями.

Задачи:

– теоретическое изучение процесса измельчения;

– разработка рабочих участков молотка;

– экспериментальное исследование острозубчатого молотка.

Методы и результаты исследования

Основной вопрос теории измельчения состоит в установлении связи между затратами энергии и размерами конечных и начальных кусков материала, их интенсивного разделения на части при нахождении в рабочей зоне измельчения и т.п.

Согласно гипотезе П. Риттингера [6–7] работа *A* при измельчении сырья пропорциональна площади вновь образованной поверхности *Δ*F:

$$A = K_1 \Delta F \qquad (1)$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности

Величину *ΔF* можно выразить через начальные $d_н$ и конечные $d_к$ размеры кусков измельчаемого сырья. Если предположить, что куски имеют форму куба с размером ребер $d_н$ до $d_к = d_н/i$ после измельчения, то можно определить

$$F = 6i^3 (d_i / i)^2 - 6d_i^{\,2} = 6d_i^{\,2}(i-1) \qquad (2)$$

Например, если начальный размер кусков измельчаемого сырья составляет $d_н$=0,012 м, а степень измельчения *i* взять в диапазоне от 4 до 7, то подставляя значения в формулу (2), получим зависимость площади вновь образованной поверхности *Δ*F от степени измельчения *i* в соответствии с рисунком 1.

Из рисунка 1 следует, что с увеличением степени измельчения *i* увеличивается площадь вновь образованной поверхности *Δ*F, т.е. чем больше получаем измельченных частиц, тем больше получается площадь вновь образуемой поверхности и тем больше затрачивается работа на измельчение. Но при этом же, если получим скорее и быстрее площадь вновь образуемой поверхности, то следовательно меньше затратится работа на измельчение, т.е. получится экономия энергозатрат. Поэтому стоит отметить, что одним из недостатков серийных молотков, является невысокая работоспособность,

способствующая высоким затратам времени измельчения, что значительно увеличивает энергоемкость процесса измельчения.

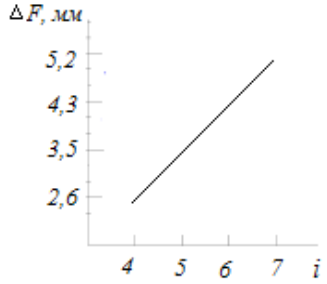


Рисунок 1 – Зависимость площади вновь образованной поверхности *Δ*F от степени измельчения *i* при $d_н$=0,012 м

Вследствие поисковых исследований нами предлагается рабочие участки молотка выполнить с острозубчатыми стержнями различной длины по двум рабочим поверхностям прямоугольного молотка с целью снижения энергоемкости процесса измельчения, повышения работоспособности устройства для измельчения, улучшения качества и интенсивности измельчения в процессе раскалывания частиц сырья вследствие их отскакивания внутри устройства и соударения об стержни рабочих участков молотка. Оригинальность и новизна молотка подтверждается решением о выдаче патента Республики Казахстан № 2019-52575 [8].

Молоток для измельчения поясняется чертежем: на рисунке 2 изображен общий вид молотка для измельчения. Молоток 1 для измельчения имеет два отверстия 2 на продольной оси симметрии 3 и рабочие участки 4 по двум поверхностям прямоугольного молотка 1 с острозубчатыми стержнями различной длины 5.

На рисунке 3 представлены сравнительные данные исследований. Результаты показали, что с увеличением частоты вращения молотков повышается производительность [9–10] по мясокостной кормовой муке. При этом применение острозубчатых стержней молотков увеличивает производительность мясокостной кормовой муки по сравнению с плоскими молотками.

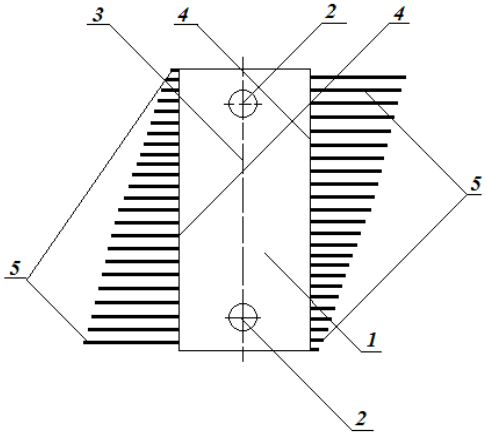
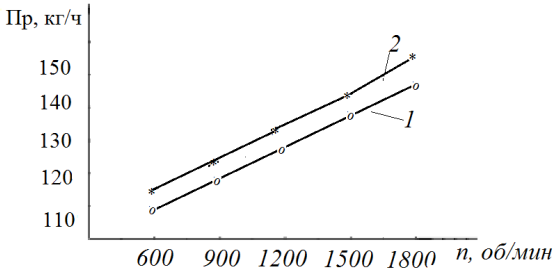


Рисунок 2 – Общий вид молотка для измельчения



1 - массовая доля фракции до 3 мм с применением плоских молотков - o

2 - массовая доля фракции до 3 мм с применением молотков с острозубчатыми стержнями - *

Рисунок 3 – Зависимость производительности *Пр* от частоты вращения молотков *n*

Выводы

Разработанная конструкция молотка с острозубчатыми стержнями различной длины по двум рабочим поверхностям прямоугольного молотка позволяет снизить энергоемкость процесса измельчения, повысить работоспособность устройства для измельчения, улучшить качество и интенсивность измельчения.

Список использованных источников

1 **Искаков, М. М., Искаков, Р. М.** Ветеринарные конфискаты и их переработка [Текст] : учебное пособие для студентов. – Алматы : Издательство «Международное агентство подписки», 2011. – 216 с.

2 **Iskakov, R. M., Issenov, S. S., Iskakova, A. M., Halam, S., Beisebekova, D. M.** Microbiological appraisal of feed meal of animal origin, produced by drying and grinding installation [Текст] // Журнал «Journal of pure and applied microbiology». – Shahjahanabad, 2015; 9(1). – P. 587–592.

3 **Iskakov, R. M., Issenov, S. S., Iskakova, A. M., Halam, S., Beisebekova, D. M.** Heat-and-moisture transfer at the feed meal particles drying and grinding [Текст] // Журнал «Life Science Journal». – New York, 2013; 10(12s). – P. 497–502.

4 **Искаков, Р. М.** Проектирование дробилок и измельчителей для приготовления кормов [Текст] : учебное пособие для студентов. – Астана: Издательство Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, 2018. – 154 с.

5 **Iskakov, R. M., Iskakova, A. M., Issenov, S. S., Beisebekova, D. M., Khaimuldinova, A. K.** Technology of multi-stage sterilization of raw materials with the production of feed meal of high biological value. [Текст] // Журнал «Journal of pure and applied microbiology». – Shahjahanabad,, 2019; 13(1). – P. 307–312.

6 Справочник химика. Химия и химическая технология. Риттингера гипотеза измельчения. 2 января 2019 г. [Электронный ресурс]. – https://chem21.info/info/535720/.

7 Законы измельчения. Закон Риттингера. 22 февраля 2020 г. [Электронный ресурс]. – https://studopedia.net/4_13728_zakoni-izmelcheniya-zakon-rittingera.html.

8 **Искаков, Р. М., Мулдашева, М. Г.** Молоток для дробления и измельчения. Решение о выдаче патента Республики Казахстан № 2019-52575 от 27.12.2019 г.

9 Большая энциклопедия нефти и газа. 2 января 2019 г. [Электронный ресурс]. – https://ngpedia.ru/id120712p1.html.

10 Законы Ньютона. 30 апреля 2020 г. [Электронный ресурс]. – https://studyguide.ru/note.php?id=4.

References

1 **Iskakov, M. M., Iskakov, R. M.** Veterinarnyye konfiskaty i ikh pererabotka [Text] : uchebnoye posobiye dlya studentov [Iskakov, M. M., Iskakov, R. M. Veterinary confiscated goods and their processing [Text] : study guide for

students] – Almaty: «Mezhdunarodnoye agentstvo podpiski» Publishing House, 2011. – 216 p.

2 **Iskakov, R. M., Issenov, S. S., Iskakova, A. M., Halam, S., Beisebekova, D. M.** Microbiological appraisal of feed meal of animal origin, produced by drying and grinding installation [Текст] // Журнал «Journal of pure and applied microbiology». – Shahjahanabad, 2015; 9(1). – P. 587–592.

3 **Iskakov, R. M., Issenov, S. S., Iskakova, A. M., Halam, S., Beisebekova, D. M.** Heat-and-moisture transfer at the feed meal particles drying and grinding [Текст] // Журнал «Life Science Journal». – New York, 2013; 10(12s). – P. 497-502.

4 **Iskakov, R. M.** Proyektirovaniye drobilok i izmel'chiteley dlya prigotovleniya kormov [Text] : uchebnoye posobiye dlya studentov [Iskakov, R. M. Design of crushers and grinders for the preparation of feed [Text] : study guide for students] – Astana: S. Seifullin Kazakh Agro Technical University Publishing House, 2018. – 154 p.

5 **Iskakov, R. M., Iskakova, A. M., Issenov, S. S., Beisebekova, D. M., Khaimuldinova, A. K.** Technology of multi-stage sterilization of raw materials with the production of feed meal of high biological value. [Текст] // Журнал «Journal of pure and applied microbiology». – Shahjahanabad,, 2019; 13(1). – P. 307–312.

6 Cpravochnik khimika. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. Rittingera gipoteza izmel'cheniya. 2 yanvarya 2019 g. [Chemist's reference book. Chemistry and chemical technology. Rittinger's comminution hypothesis. January 2, 2019] [Electronic resource]. – https://chem21.info/info/535720/.

7 Zakony izmel'cheniya. Zakon Rittingera. 22 fevralya 2020 g. [Grinding laws. Rittinger's Law. February 22, 2020] [Electronic resource]. – https://studopedia.net/4_13728_zakoni-izmelcheniya-zakon-rittingera.html.

8 **Iskakov, R. M., Muldasheva, M. G.** Molotok dlya drobleniya i izmel'cheniya. Resheniye o vydache patenta Respubliki Kazakhstan № 2019–52575 ot 27.12.2019 g. [Iskakov, R. M., Muldasheva, M. G. Hammer for crushing and grinding. The decision to issue a patent of the Republic of Kazakhstan No. 2019-52575 dated December 27, 2019].

9 Bol'shaya entsiklopediya nefti i gaza. 2 yanvarya 2019 g. [Big encyclopedia of oil and gas. January 2, 2019] [Electronic resource]. – https://ngpedia.ru/id120712p1.html.

10 Zakony N'yutona. 30 aprelya 2020 g. [Newton's laws. April 30, 2020] [Electronic resource]. – https://studyguide.ru/note.php?id=4.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Р. М. Искаков, М. Г. Мулдашева

Ет сүйекті шикізатты ұсақтауға арналған энергия сыйымды балғалы ұатқыш

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

R. M. Iskakov, M. G. Muldasheva

Energy-intensive hammer for grinding meat and bone raw materials

Kazakh AgroTechnical University S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
Material received on 19.03.21.

Мақалада ет сүйекті шикізатты ұсақтаудағы энергиясы сыйымды балғалы ұатқышты әзірлеу бойынша зерттеу жұмыстары берілген. Тікбұрышты балғаның екі жұмыс беті бойынша ұзындығы әртүрлі үшкір тісті өзекшелері бар балғаның әзірленген конструкциясы сипатталады, және де ол ұсақтау процесінің энергия сыйымдылығын төмендетуге, ұсақтау үшін құрылғының жұмыс қабілеттілігін арттыруға, ұсақтау сапасы мен қарқындылығын жақсартуға мүмкіндік береді. Үшкір тісті балғалардың өзекшелерін қолдану жалпақ балғалармен салыстырғанда ет-сүйек жемдік ұнның өнімділігін 7–9 %-ға арттырады, бұл балғалардың өзекшелерінің өткір тістерімен қосымша уату есебінен ет-сүйек шикізаты бөлшектерінде қарқынды сызаттануына және жарылуына әсер етеді.

Кілтті сөздер: ұнтақтау, өткір тісті балға, крекинг, ет және сүйек шикізаттарының энергия шығыны.

The article considers research on the development of a hammer for energy-intensive grinding of meat and bone raw materials. Developed design of hammer with sharp-toothed rods of different length is described along two working surfaces of rectangular hammer, which allows to reduce power consumption of grinding process, increase efficiency of grinding device, improve quality and intensity of grinding. Application of sharp-cut hammer rods by 7–9 % increases productivity of meat-and-bone fodder flour in comparison with flat hammers, which is connected most due to additional splitting of meat-and-bone raw materials by sharp teeth of hammer rods forming intensive cracking and splitting in meat-and-bone raw materials particles.

Keywords: energy consumption of grinding, sharp-toothed hammer, cracking, meat and bone raw materials.

МРНТИ 73.37.81

https://doi.org/10.48081/GZRI8925

***М. Е. Қалекеева, Ю. Г. Литвинов, Т. Б. Керибаева,**
С. Жардемкызы, Б. Манарбеккызы
Академия гражданской авиации,
Республика Казахстан, г. Алматы

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА

В данной статье использованы аналитические методы исследований с использованием экспериментов. Аналитические методы исследований использованы для исследования физических моделей, описывающих функциональные связи внутри или вне объекта. С их помощью устанавливают математическую зависимость между параметрами модели. Такая модель может быть представлена в виде уравнения или системы уравнений, функции. При выборе типа математической модели объекта по экспериментальным данным устанавливают степень его детерминированности, то есть статичность или динамичность, стационарность или нестационарность, линейность или нелинейность. В основе создания модели также будут допущения, принимающиеся с целью отсева незначительных факторов, которыми можно пренебречь без существенного искажения условий задачи.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы, адаптивные системы, адаптивный фильтр.

Введение

Адаптивные системы – растущая область исследований, характеристики которых напоминают характеристики живых систем и биологические адаптивные процессы. Как правило, «адаптация» – это эволюционный процесс, когда организмы лучше приспособлены к жизни в своей среде. Это определение, выраженное в терминах биологической адаптации к окружающей среде, также можно использовать и для «искусственных» адаптивных систем. Адаптивный фильтр – это устройство оценки, которое моделирует взаимосвязь между двумя сигналами в итеративном режиме в реальном времени [1]. Адаптивные фильтры характеризуются как:

1) сигналы, которые обрабатываются фильтром;

2) структура, которая определяет, как выходной сигнал зависит от входного сигнала;

3) параметры структуры, которые могут быть изменены для улучшения отношений ввода / вывода;

4) адаптивный алгоритм, который показывает, как параметры корректируются с итерации на итерацию.

Общая схема адаптивного фильтра представлена на рисунке 1, где входной сигнал адаптивного фильтра $x(n)$ и выходной сигнал $y(n)$, который сравнивается с желаемым сигналом по времени $d(n)$. Сигнал ошибки $e(n) = d(n) - y(n)$. Сигнал ошибки подается в процедуру, которая адаптирует параметры от времени n до времени $n+1$.

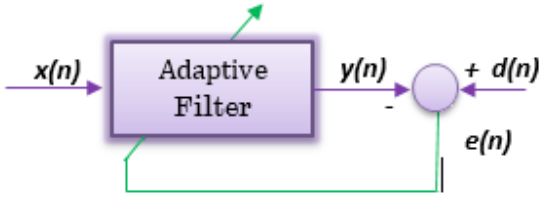


Рисунок 1 – Общая схема адаптивного фильтра

Основные характеристики таких систем:

→ они могут автоматически адаптироваться к изменению условий и системных требований;

→ они могут выполнять задачи принятия решений;

→ могут адаптироваться к внутренним ошибкам;

→ они могут быть описаны как нелинейные системы с изменяющимися во времени параметрами.

Методологической основой исследования стали научные труды отечественных и зарубежных ученых в различных областях [2].

Материалы и методы

Аналитические методы исследований использованы для исследования физических моделей, описывающих функциональные связи внутри или вне объекта. С их помощью устанавливают математическую зависимость между параметрами модели. Такая модель может быть представлена в виде уравнения или системы уравнений, функции. Моделирование – это изучение объекта посредством моделей с переносом полученных знаний на оригинал. Математическое моделирование – замена реальной системы на абстрактную, в результате чего задача превращается в математическую, поскольку состоит из

набора конкретных математических объектов. При выборе типа математической модели объекта по экспериментальным данным устанавливают степень его детерминированности, то есть статичность или динамичность, стационарность или нестационарность, линейность или нелинейность.

Экспериментальные методы исследований позволяют более глубоко и детально изучить исследуемый процесс. Каждый конкретный процесс должен быть исследован самостоятельно и проанализирован. Анализ для наглядности будет проводиться методами графического исследования. Экспериментальные методы позволят установить частные зависимости между переменными в строго определенных интервалах их изменения [3].

Исследование в области нейроробототехники, а в частности изучение отдела головного мозга-мозжечка, который отвечает за координацию движений, также за возможность обеспечивать равновесие тела и регуляцию мышечного тонуса.

Использованы сферы науки, такие как электрофизиология, моделирование, механика, контроль и робототехника. Совокупность различных отраслей науки для решения конкретных проблем, а точнее анализа системы движения и стабилизации картинки при изменении положения конструкции, к которой прикреплена камера, иными словами, искусственное зрение робота. Основным этапом проекта является изучение и применение нескольких алгоритмов адаптивного управления и выбор наиболее эффективной модели фильтра.

Роль мозжечка и то, как он работает в процессе адаптации вестибуло-окулярного рефлекса, может быть рассмотрена с точки зрения теории управления [4]. На рисунках 2 и 3 отображена схожесть упрощенной схемы мозжечка и структуры адаптивного фильтра. Для иллюстративных целей области, выполняющие одинаковые функции выделены одним цветом. На рисунке 4 входные сигналы фильтра (MF) состоят из (PF) сигналов, затем взвешиваются (синапсы PF-PC) и рекомбинируются для формирования фильтра. Основная причина, по которой фильтр адаптивен, заключается в том, что его веса могут быть скорректированы с помощью методов обучения или сигнала ошибки с использованием правила обучения ковариации. Рисунок 5 может быть идентифицирован как архитектура адаптивного фильтра, анализирующая и синтезирующая сигналы [5–7].

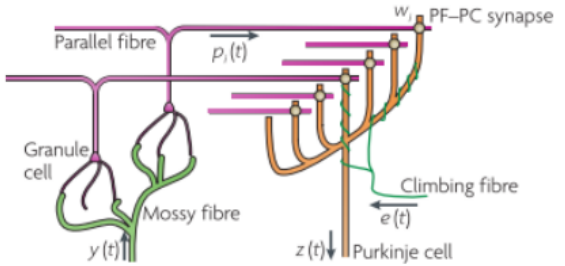


Рисунок 2 – Упрощенная схема мозжечка.

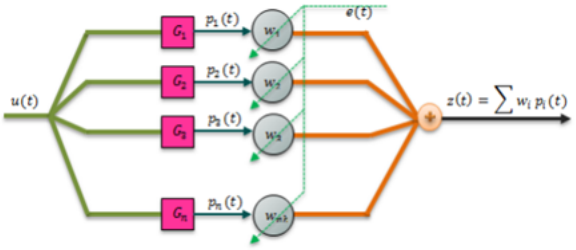


Рисунок 3 – Адаптивная структура фильтра

Адаптивные фильтры позволяют считывать и обрабатывать сигнал, приспосабливаться или адаптироваться к существующим условиям функционирования. Модель адаптивного фильтра микросхемы мозжечка успешно применяется для решения проблем биологического моторного управления, таких как вестибуло-окулярный рефлекс (ВР). Он также успешно применяется для задач робототехники, таких как адаптивная стабилизация камеры.

Благодаря вестибуло-окулярным рефлексам поддерживается фиксация взора при движениях головы, то есть сохраняется стабильное изображение на сетчатке во время быстрых вращательных движений головы. Одновременно с движением головы происходит рефлекторное смещение глаз в противоположном направлении на нужное расстояние. Когда голова начинает движение в каком-либо направлении (с ускорением), полукружные каналы внутреннего уха стимулируются. Глазодвигательная система отвечает на эту стимуляцию смещением глаз в противоположную сторону с такой же скоростью. Влияние полукружных каналов легко продемонстрировать. Если пальцами вытянутой руки быстро размахивать перед собственными глазами, различить отдельные пальцы становится невозможно [8]. Если же с такой

же скоростью вертеть головой, пальцы остаются вполне различимыми, так что роль пути от полукружных каналов очевидна.

Обработка входного сигнала MF *u(t)* слоем гранулярных клеток интерпретируется как анализ группы фиксированных фильтров $G_i(t)$, которая означает, что PF проводят сигналы:

$$p_i(t) = G_i \cdot u(t). \quad (2.1)$$

Весовая сумма PF-входов – это выход PC:

$$z(t) = \sum w_i \cdot p_i(t), \quad (2.2)$$

поэтому PC реализует линейный фильтр:

$$C = \sum w_i \cdot G_i. \quad (2.3)$$

Вход CF адаптирует синаптические веса по правилу обучения и интерпретируется как обучающий сигнал *e(t)*, который является сигналом ошибки. Весы корректируются с помощью этого правила обучения:

$$\delta w_i = - \beta (e p_i(t)), \quad (2.4)$$

где β – небольшой положительный коэффициент обучения.

Здесь используется метод обучения, который называется правилом обучения ковариации или методом наименьших квадратов (МНК) и используется для минимизации среднеквадратичной ошибки (СКО), его также можно назвать правилом обучения декорреляции, так как обучение останавливается, когда ошибки не связаны со всеми входами фильтра.

Согласно вышеуказанным описаниям и проведенному сравнению сходства между работой мозжечка и адаптивного фильтра очевидны.

Адаптивный фильтр используется для выполнения двух функций, которые связаны с мозжечком:

→ предсказание сенсорных эффектов движения организма;

→ точное управление движением.

В данных функциях могут быть продемонстрированы главные проблемы биологического контроля, касающейся «повторения». Эти проблемы и методы их решения поясняются в следующих разделах.

Как было описано ранее, схема управления ВР использует измерение скорости головы для управления скоростью глаза:

$$x(t) = P(t)u(t), \quad (2.5)$$

где

$$u(t) = \frac{B(t)}{1 - B(t)C(t)}, \quad (2.6)$$

где мозжечковый фильтр C(t) является изменяющимся во времени элементом.

$$P(t)^{-1} = \frac{B(t)}{1 - B(t)C(t)^*}, \quad (2.7)$$

Согласно уравнению (2.7) мозжечковый фильтр:

$$C(t)^* = B(t) - P(t)^{-1} \quad (2.8)$$

Схожесть рекурсивного алгоритма обучения с мозжечковым фильтром C(t) где устойчивость доказана с использованием прямого метода Ляпунова.

В предыдущем подразделе было описано, как адаптивный алгоритм управления связан с мозжечком. В этом подразделе описывается модель базовой системы ВР и способ реализации адаптивного контроля с помощью мозжечка. На рисунке 4 показана реккурентная архитектура, которая представляет собой линейную модель горизонтального вестибуло-окулярного рефлекса [9]. Адаптивный элемент C обучает сигнал команды двигателя u(t) и выходным сигналом является z(t), который далее суммируется к сигналу r(t). Основная задача ВР состоит в том, чтобы преобразовать вестибулярный сигнал, который является отношением скорости головы к командам двигателя.

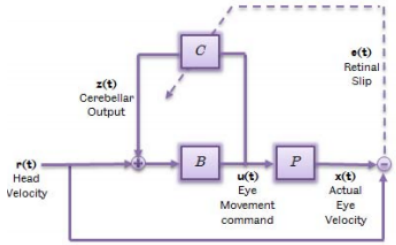


Рисунок 4– Основная система ВР

где P– окуломоторная установка

B – ствол мозга

C – мозжечок

r(t) – скорость головы

u(t) – команда двигателя

e(t) – сенсорная ошибка (смещение сетчатки)

z(t) –сигнал, обработанный адаптивным элементом

x(t) – фактическая скорость глаза

Характеристики модели базовой системы ВР (рисунок 6) были выбраны следующим образом [10].

Р – динамическая модель первого порядка окуломоторной установки с передаточной функцией P (s) между скоростью вращения глаза x(t) и командой двигателя u(t) в качестве преобразования Лапласа в уравнении (2.9).

$$P(s) = \frac{ks}{s+{}^{1}/_{Tp}}, \tag{2.9}$$

где *Tp*= 0.2s – постоянная времени;

k= 1 – коэффициент усиления.

В – мозговой ствол, который моделируется как интегральный протектор первого порядка плюс чистый коэффициент усиления постоянного тока. Передаточная функция модели ствола мозга B(s) представлена как преобразование Лапласа в уравнении (2.10). Выход – команда двигателя u(t); вход представляет собой соединение вестибулярной системы r(t) и выход мозжечка z(t)

$$B(s) = G_d + \frac{G_i}{s+{}^{1}/_{T_i}}, \tag{2.10}$$

где G_d-=1 коэффициент усиления прямого канала,

G_i==5 – коэффициент усиления косвенного пути,

T_i=0,5s – постоянная времени.

Дальнейшие симуляции выполнялись с различными версиями параметров G_d, G_i, T_i, T_p. Следует отметить, что точные значения на данном этапе не важны, но постоянные времени должны быть в диапазоне 100 мс.

Мозговой ствол обеспечивает контроль, который улучшает мозжечок, регулируя ответ через вес фильтра. Идеальная компенсация установки может быть достигнута самим мозговым стволом, когда ∞, 1, G_i=1, а G_i=${}^{1}/_{T_p}$ Мозжечок реализуется как адаптивный фильтр FIR (конечный импульсный отклик) C, с выходом z(t), который приведен в уравнении (2.11).

$$z(t) = \sum_{i=0}^{L} w_i p(t - i \cdot \Delta T), \tag{2.11}$$

где вход u(t) адаптивный фильтр C, который был разбит на число L-составляющих p_1 (t),....,p_n (t) с задержками между ними ΔT. ΔT=0,02s (всего 2 с) w_i вес компонента p_i.

Правило для регулировки веса приведено в следующем разделе.

Для уменьшения воспринимаемого визуального проскальзывания с входа необходимо изменить вес адаптивного фильтра. Как уже упоминалось ранее, весы являются аналогом параллельных волоконных синапсов клеток Пуркинье коры мозжечка. Обратная окуломоторная установка реализуется, когда алгоритм обучения успешно применяется, а регулировка веса выполняется в сочетании с мозговым стволом. Как видно на рисунке 6 ошибка e(t) является прямым результатом производительности адаптивного фильтра.

$$e(t) = (P - B^{-1} + C) \cdot x(t). \tag{2.12}$$

Как видно из уравнения (2.12), ошибка уменьшается до нуля, когда $C = B^{-1} - P$.

Эффективно, эта топология обучения впоследствии не нуждается в переводе сенсорной ошибки в ошибку команды мотору. По этой причине ожидается, что наблюдаемое визуальное скольжение создаст подходящий обучающий сигнал для адаптации фильтра. Правило для регулировки весов показано в уравнении (2.13).

$$\delta w_i = -\beta \langle p_j(t) \cdot \hat{u}(t) \rangle, \tag{2.13}$$

где δw_i – это изменение j-того веса w_j

β – константа коэффициента обучения. Значение этого параметра настраивается для быстрого обучения без нестабильности.

$\hat{u}(t)$ – значение проскальзывания сетчатки во время t;

p_j(t) – значение j-го фильтра в момент времени t;

$\langle \quad \rangle$ – обозначает ожидаемое значение прилагаемой величины за период времени, используемый для обучения. Особенности учебного правила заключаются в том, что он идентичен правилу LMS теории адаптивного управления, а также останавливается, когда входы CF и PF некоррелированы, что является свойством контроля отделки.

Результаты и обсуждение

Модельная архитектура системы, описанная в предыдущем разделе, была запрограммирована с использованием Matlab и Simulink. Блок-схема в Simulink показана на рисунке 5. Коды Matlab, используемые для запуска блока Simulink были разработаны с использованием сценариев предыдущих

лет. Эксперименты, приведенные ниже, были сделаны для простой установки первого порядка, чтобы доказать применимость алгоритма.

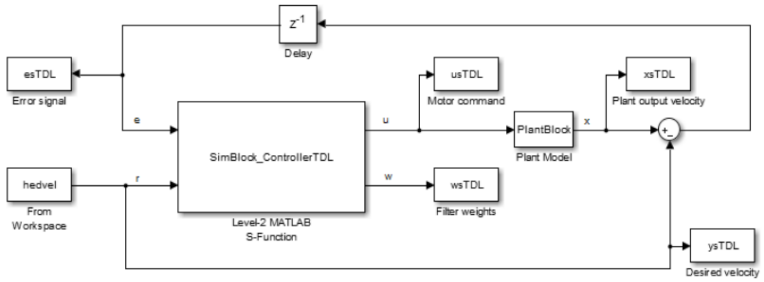


Рисунок 5 – Блок-схема в Simulink

Эксперименты для первого порядка

Вход для этой системы представляет собой сигнал скорости головы, смоделированный как белый шум, ограниченный полосой. Обучение начинается через 30 секунд. Для тестирования того, как значение скорости обучения влияет на производительность, каждый раз, когда один и тот же набор сигналов используется как вход r. Эффект обучения показан на рисунке 6.

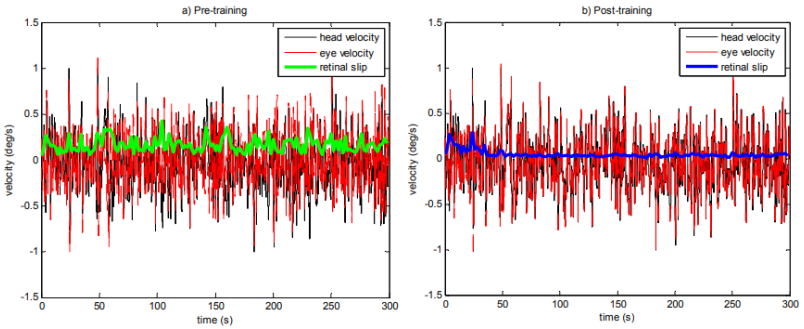


Рисунок 6 – Ошибка до и после обучения

Разница между проскальзыванием сетчатки пред-тренировочных и пост-тренировочных экспериментов дает лучшее понимание того, как адаптивный компонент снижает погрешность (рисунок 7)

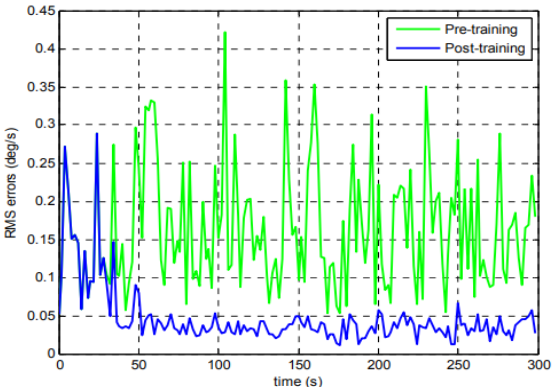


Рисунок 7 – Сдвиг сетчатки до и после тренировки (обучение началось через 30 секунд)

Необходимо обеспечить, чтобы обучение было достаточно медленным, чтобы решить следующие задачи:

а) возмущения установки;

б) задержки;

в) изменения динамики установки.

Выводы

Адаптивная модель фильтра является биологически правдоподобной, поскольку она имеет аналогичную основную структуру для коры мозжечка и принцип работы хорошо подходит для описания основных функций мозжечка.

Возможно адаптировать алгоритм адаптивного управления мозжечка во встроенную архитектуру управления для адаптивного управления роботизированными системами с использованием многодисциплинарного подхода, который включает в себя теорию управления, нейронауку, электронику, мехатронику, робототехнику, разработку программного обеспечения и встроенные вычисления.

Исследование отслеживания на динамической модели показывает, что адаптивный контроллер способен отслеживать, даже когда изменения происходят в модели установки.

Список использованных источников

1 **Андерсон, Р. С., Уилсон, Э.** Дифференциальные уравнения движения адаптивного фильтра [Текст]. – Лондон, Великобритания: Технический отчет, 2011. – 315 с.

2 **Ито, М.** Мозжечковая схема как нейронная машина [Текст] // Прогресс в нейробиологии. – 2006. – Т. 78.3. – С. 272–303.

3 **Дин, П.** Адаптивная фильтрующая модель мозжечковой зоны как основа безопасности [Текст] // Нейронные сети. – Ноябрь 2013 года. – Т. 47. – С. 134–149.

4 **Дин, П.** Микросхема мозжечка как адаптивный фильтр: экспериментальные и вычислительные данные [Текст] // Неврология. – 2010. – Т. 11(1). – С. 30-43.

5 **Дин, П., Поррилл, Дж., Стоун, Дж. В.** Контроль декорреляции мозжечком обеспечивает компенсацию окуломоторной установки при моделировании вестибулоокулярного рефлекса [Текст] // Биологические науки. Королевское общество. – 2002. – Т. 269 (1503). – С. 1895–1904.

6 **Брэйн Т. Х. Ю.** Адаптивные фильтрующие модели мозжечка: факт или вымысел [Текст] // Семинар Пауль Д. – 2011. – Т. 14. – С. 187-196.

7 **Экклз Джон К.** Мозжечок как нейронная машина [Текст] – Нью-Йорк: Спрингер Верлаг. – 1967. – 335 с.

8 **Ленц, А.** Адаптивный регулятор стабилизации взгляда, вдохновленный вестибулоокулярным рефлексом [Текст] // Биоинспирация и биомиметика. – 2008. – Т. 8. – С. 415–422.

9 **Ленц, А.** Мозжечковое адаптивное управление глазом робота, приводимым в действие пневматическими искусственными мышцами [Текст] // Часть В, Кибернетика: общество человека и кибернетики – 2009. – Т. 39(6). – С. 1420–1433.

10 **Мадисетти, Э., Уильямс, Д. Б, Дуглас, С. С., Дуглас, С. С.** Введение в адаптивные фильтры [Текст]. – Ньютон, Массачусетс: CRC Пресс LLC, 1999. – 200 с.

References

1 **Anderson, R. S., Uilson, E**. Differenczialnye uravneniya dvizheniya adaptivnogo filtra [Differential equations of motion of the adaptive filter] [Text]. – London, Velikobritaniya: Tekhnicheskij otchet, 2011. – 315 p.

2 **Ito, M.** Mozzhechkovaya shema kak nejronnaya mashina [Cerebellar circuitry as a neuronal machine] [Text]. Progress v nejrobiologii. – 2006. – T. 78.3. – P. 272–303.

3 **Dean, P.** Adaptivnaya filtruyushhaya model mozzhechkovoj zony kak osnova bezopasnosti [An adaptive filter model of cerebellar zone as a basis for safe] [Text]. Nejronnye seti. – Noyabr 2013 goda. – T. 47. – P. 134–149.

4 **Dean, P.** Mikroshema mozzhechka kak adaptivnyj filtr: eksperimentalnye i vychislitelnye dannye. [The cerebellar microcircuit as an adaptive filter: experimental and computational evidence] [Text]. Nevrologiya. – 2010. – T. 11(1). – P. 30–43.

5 **Dean, P., Porrill, Dzh., Stoun, Dzh. V.** Kontrol dekorrelyaczii mozzhechkom obespechivaet kompensacziyu okulomotornoj ustanovki pri modelirovanii vestibulookulyarnogo refleksa. [Decorrelation control by the cerebellum achieves oculomotor plant compensation in simulated vestibulo-ocular reflex. Proceedings] [Text]. Biologicheskie nauki. Korolevskoe obshhestvo. – 2002. – T. 269(1503). – P. 1895–1904.

6 **Brain, T. H. U.** Adaptive Filter Models of the Cerebellum: Fact or Fiction [Adaptive Filter Models of the Cerebellum: Fact or Fiction] [Text]. Seminar Paul D. – 2011. – T. 14. – P. 187–196.

7 **Ekklz, Dzhon K.** Mozzhechok kak nejronnaya mashina [The cerebellum as a neuronal machine] [Text]. – Nyu-Jork: Springer Verlag. – 1967. – 335 p.

8 **Lencz, A.** Adaptivnyj regulyator stabilizaczii vzglyada, vdokhnovlennyj vestibulookulyarnym refleksom [An adaptive gaze stabilization controller inspired by the vestibulo-ocular reflex] [Text]. Bioinspiracziya i biomimetika. – 2008. – T. 8. – P. 415–422.

9 **Lencz, A.** Mozzhechkovoe adaptivnoe upravlenie glazom robota, privodimym v dejstvie pnevmaticheskimi iskusstvennymi myshczami [Cerebellar-inspired adaptive control of a robot eye actuated bypneumatic artificial muscles] [Text]. Chast V, Kibernetika: Man and Cybernetics Society – 2009. – T. 39(6). – P. 1420–1433.

10 **Madisetti, E., Uilyams, D. B, Duglas, S. S., Duglas, S. S.** Vvedenie v adaptivnye filtry [Introduction to Adaptive Filters] [Text]. – Nyuton, Massachusets: CRC Press LLC, 1999. – 200 p.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

М. Е. Қалекеева, Ю. Г. Литвинов, Т. Б. Керибаева
С. Жәрдемқызы, Б. Манарбекқызы

Адаптивті сүзгі алгоритмін талдау және салыстыру

Азаматтық авиация академиясы,
Казақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

M. Kalekeyeva, Y. Litvinov, T. Keribayeva
S. Zhardemkyzy, B. Manarbekkyzy

Analysis and comparison of adaptive filter algorithms

Civil Aviation Academy,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

Бұл мақалада эксперименттерді пайдалана отырып, аналитикалық зерттеу әдістері қолданылады. Аналитикалық зерттеу әдістері объект ішіндегі немесе одан тыс функционалдық қатынастарды сипаттайтын физикалық модельдерді зерттеу үшін қолданылады. Олардың көмегімен модельдердің математикалық тәуелділік параметрлер арасындағы байланыс орнатылады. Мұндай модель теңдеу немесе теңдеулер жүйесі, функция ретінде ұсынылуы мүмкін. Модельдеу - білімнің түпнұсқаға ауысуымен модельдер арқылы объектіні зерттеу. Математикалық модельдеу - нақты жүйені дерексіз ауыстыру болып табылады, оның нәтижесінде мәселе математикалық мәнге айналады, өйткені ол нақты математикалық объектілер жиынтығынан тұрады. Эксперименттік деректерден объектінің математикалық моделінің түрін таңдаганда, ягни статикалық немесе динамикалық, сызықтық немесе сызықты емес дәрежесінің анықталуы. Модельдеу проблема жагдайларын едәуір бұрмалаусыз елеусіз қалуы мүмкін шагын факторларды жою мақсатында жасалатын болжамдарга негізделетін болады.

Кілтті сөздер: адаптивті алгоритмдер, адаптивті жүйелер, адаптивті сүзгі.

This article uses analytical methods of research using experiments. Analytical research methods are used to study physical models that describe functional connections inside or outside an object. They are used to establish a mathematical relationship between the model parameters. Such a model can be represented as an equation or a system of equations, or a function. When choosing the type of mathematical model of an object, the degree of its determinism is determined based on experimental data, that is, static or dynamic, stationary or non-stationary, linear or non-linear. The model will also be based on assumptions that are made in order to eliminate insignificant factors that can be ignored without significantly distorting the conditions of the problem.

Keywords: adaptive algorithms, adaptive systems, adaptive filter.

МРНТИ 67.15.55

https://doi.org/10.48081/OHSC9348

А. Ш. Калмагамбетова, Т. А. Богоявленская
Карагандинский технический университет,
Республика Казахстан, г. Караганда

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРЕДИЗОЛИРОВАННОГО ТРУБОПРОВОДА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

В работе приведены результаты моделирования трубопровода теплоснабжения из стали с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Основной задачей исследования явилось моделирование надежности, срока службы и жизненного цикла теплопроводов с полимерной оболочкой из полиэтилена низкого давления высокой плотности с помощью специализированного программного обеспечения. Представлен возможный вариант режима работы тепловых сетей. Сделаны выводы об увеличении срока эксплуатации трубопроводов в пенополиуретановой тепловой изоляции с защитной оболочкой из полиэтилена низкого давления высокой плотности. Описана зависимость выбора исходных материалов для изоляции и защитной оболочки. Проанализирована надежность систем теплоснабжения, которая напрямую зависит от срока службы теплопроводов. Представлен расчет срока службы пенополиуретановой изоляции труб тепловых сетей при переменном температурном графике по методике интегральной оценки.

Ключевые слова: тепловые сети; полимерные трубы; полиэтилен; срок службы, прочность и сопротивление материалов.

Введение

Казахстан является одной из ведущих стран в мире по выпуску тепловой энергии централизованной системой теплоснабжения. Поэтому очень важно осуществлять меры по повышению ее энергетической эффективности. В строительстве тепловых сетей подземной бесканальной прокладки в настоящее время лидирующее место занимают трубы в тепловой изоляции из пенополиуретана с защитной оболочкой из полиэтилена. К наиболее значимым преимуществам труб в пенополиуретановой изоляции можно отнести:

герметичность наружного гидрозащитного покрытия, предотвращающего попадание воды в слой тепловой изоляции; оснащение трубопроводов системой оперативного дистанционного контроля; технологичность изготовления в заводских условиях, а, следовательно, качество продукции – как залог долговечности и срока службы тепловой сети. Из опыта применения труб в Европе, в частности в Германии, Дании, известно, что срок службы таких трубопроводов может достигать до 50 лет. Вопросу исследования эксплуатационных свойств труб в пенополиуретановой изоляции посвящены статьи [1, 2].

Эти работы объединяют общие выводы: для достижения высокой степени надежности систем теплоснабжения необходимо перейти к прокладке труб бесканальным способом с использованием современных видов теплоизоляционных материалов. Авторами в работах [3, 4] были даны общие рекомендации и основные меры по борьбе с повышенными значениями потерь тепловой энергии через теплоизоляционный слой.

Таким образом, одной из основных причин низкой надежности систем теплоснабжения, а также ее низкой энергоэффективности, является ветхость теплопроводов в результате крайней изношенности теплоизоляционной конструкции, влияющей на целостность поверхности стального теплопровода.

Для того, чтобы увеличить надежность и долговечность трубопровода тепловой сети, в первую очередь, еще на этапе проектирования необходимо осуществить прогноз и оценку его прочности и долговечности. С этой целью проектировщики тепловых сетей подбирают материалы и методики прокладки трубопроводов, учитывая мировой опыт устройства тепловых сетей.

Материалы и методы

Для расчета прочности и жесткости трубопроводов используются общие методы строительной механики: внутренние силовые факторы и реакции опор определяют расчетом трубопровода как упругой стержневой системы с учетом реальной гибкости элементов и сил трения в опорах скольжения по методам строительной механики стержневых систем. Нагрузки на оборудование и опоры определяют в рабочем и холодном (нерабочем) состояниях трубопровода, а также при испытаниях [5].

Современная наука по расчетам на прочность пока не может рассчитывать реальные конструкции, но при использовании современных программных комплексов приходится иметь дело с расчетной моделью. Применение расчетной модели позволяет учесть свойства реальной конструкции трубопровода.

Результаты и обсуждение

Было произведено моделирование теплопроводов различного диаметра и протяженности, проектируемых в различных районах Казахстана с помощью программного комплекса «СТАРТ» НТП «Трубопровод». Было

оценено влияние заданных параметров тепловых сетей на их долговечность, работоспособность и жизненный цикл. Произведен сравнительный анализ двух вариантов моделирования с различными исходными данными. Далее представлен первый вариант расчета трубопровода условным диаметром 1000 мм, в пенополиуретановой изоляции в полиэтиленовой защитной оболочке по ГОСТ 30732-2006 «Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия», проектируемого в городе Нур-Султан Республики Казахстан на прочность в ПК СТАРТ по расчетному документу ГОСТ Р 55596-2013 «Сети тепловые. Нормы и методы расчета на прочность и сейсмические воздействия». За расчетные параметры были приняты следующие, см. таблицу 1:

Таблица 1 – Исходные расчетные параметры трубопровода.

№	Расчетные параметры	1 вариант	2 вариант
1	Расчетная температура	130 ^{0}C	150 ^{0}C
2	Расчетное давление	1,6 МПа	1,6 МПа
3	Давление испытания	2 МПа	2 МПа
4	Температура монтажа	0^{0}C	0^{0}C
5	Расчетный срок службы	30 лет	30 лет
6	Температура испытаний водой	80^0 C	80^0 C
7	Наружный диаметр трубопровода и толщина стенки	1020 мм х 11 мм	1020 мм х 9 мм
8	Материал стальной трубы	сталь марки 17Г1С	сталь марки Ст20
9	Технологическое утонение	0,8 мм	0,8 мм
10	Прибавка на коррозию	2,55 мм	2,55 мм
11	Диаметр гидроизоляционной оболочки	1200 мм	1200 мм
12	Засыпка	песок мелкий тяжелый	песок мелкий тяжелый
13	Изоляция	пенополиуретан	пенополиуретан
14	Высота засыпки грунта	0,8 м	0,8 м

Производили расчет участка П-образного компенсатора теплопровода.

Рисунок 1 – участок моделируемого трубопровода в ПК«СТАРТ»

Как видно из рисунка 1 существуют продольные перемещения трубопровода в области углов поворота трубопровода, так называемые.

Далее представлены результаты перемещений данного участка в таблице 1.

Таблица 1 – Перемещения. Предельные по всем состояниям (В глобальных осях; Линейные и угловые)

Номер узла	Вид изделия	Перемещение вдоль глобальной оси, (мм)			Поворот вокруг глобальной оси, (°)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
30	Отвод крутоизогнутый	0	30.6	0	0	0	0.19
30	Отвод крутоизогнутый	-25.3	0	-4.3	0	0	0
31	Отвод крутоизогнутый	0	0	0	0	0	0
31	Отвод крутоизогнутый	-10.4	-1.7	-4.5	0	-0.01	-0.26
32	Отвод крутоизогнутый	0	0	0	0	0	0.23
32	Отвод крутоизогнутый	-1.1	-10.3	-4.3	0	0	0
33		-3.9	0	0	-0.53	-0.63	0
33		0	8.3	8.1	0.11	0.15	0.01

Далее произвели второй вариант расчета этого же участка трубопровода, но изменив некоторые расчетные параметры, такие как: марку стали, толщину стенки, рабочую температуру и не учитывая полиэтиленовых подушек, которые служат амортизаторами перемещений теплопровода в результате теплового расширения. Полученные данные в таблице 2.

Таблица 2 – Перемещения. Предельные по всем состояниям (В глобальных осях; Линейные и угловые)

Номер узла	Вид изделия	Перемещение вдоль глобальной оси, (мм)			Поворот вокруг глобальной оси, (°)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
30	Отвод крутоизогнутый	0	35.9	0	0	0	0.3
30	Отвод крутоизогнутый	-30.3	0	-4.3	0	0	0
31	Отвод крутоизогнутый	0	0	0	0	0	0
31	Отвод крутоизогнутый	-15.4	-2	-5.6	0	-0.01	-0.26
32	Отвод крутоизогнутый	0	0	0	0	0	0.23
32	Отвод крутоизогнутый	-1.1	-15.3	-7.3	0	0	0
33	Отвод крутоизогнутый	-4.5	0	0	-0.53	-0.63	0
33		0	8.3	8.1	0.11	0.15	0.01

Как видно из таблицы 2 перемещения трубопровода в данном конкретном случае отличаются. Это обусловлено увеличением рабочей температуры и изменением других параметров. Предположительно срок службы в данном случае может уменьшиться с нормативных 30 лет.

Трубопровод тепловой сети в рабочих условиях (например, давление 1,6 МПа, температура 130 ^{0}С) испытывает температурные перемещения в результате теплового расширения. Стальная труба, пенополиуретановая изоляция и гидрозащитная оболочка в таком случае должны работать как единое целое и образовывать жёсткую конструкцию.

Произвели интегральную оценку срока службы тепловой изоляции труб.

Срок службы теплоизоляции труб из пенополиуретана оценивали в зависимости от температурного графика теплоносителя, предоставленного АО «Астана-Теплотранзит» [7].

Таблица 3 – Годовые значения рабочих параметров тепловых сетей г. Нур-Султан на 2017 г (с разбивкой по месяцам)

Месяц	Значение температуры, 0 ^{0}С				Значение температуры сетевой воды, ^{0}С				Температура пара	Число часов работы водяных сетей, час	Число часов работы паровых сетей, час
	Грунта, t гр.		Наружного воздуха	Холодной воды	Город, 130/70		Город, 136/70				
	На глубине 0,8 м	На глубине 1,6 м			подача	обратка	подача	обратка			
01.17	-0,6	3,0	-17,1	2,6	97,7	55,5	101,7	55,9	250	744	744
02.17	-1,7	1,6	-17,2	3,9	97,8	55,6	101,9	55,9	250	672	672
03.17	-1,3	1,1	-5,3	3,2	75,4	44,6	78,1	44,7	250	744	744
04.17	4,1	2,7	8,1	3,9	70,0	52,1	70,0	50,6	250	720	720
05.17	9,9	6,6	14,2	9,1	70,0	50,0	70,0	50,0	250	744	744
06.17	14,4	10,0	20,7	14,7	70,0	50,0	70,0	50,0	250	720	720
07.17	16,8	12,8	20,2	18,3	70,0	50,0	70,0	50,0	250	744	744
08.17	17,1	14,1	20,1	19,1	70,0	50,0	70,0	50,0	250	744	744
09.17	15,1	13,9	13,3	15,1	70,0	50,0	70,0	50,0	250	720	720
10.17	10,2	11,6	5,2	11,3	70,0	49,3	70,0	47,6	250	744	744
11.17.	5,1	8,2	-4,2	4,4	73,3	43,5	75,9	43,6	250	720	720
12.17	1,4	5,2	-13,5	1,9	91,0	52,3	94,7	52,6	250	744	744

Средняя за год	7,6	7,6	3,7	9,0	77,1	50,2	78,5	50,1	250	8760	8760

Годовой температурный график привели к виду, удобному для использования в последующих расчетах:

– продолжительность воздействия в отопительный сезон τ_n (в долях от года) температур до 102 °С (относят к температуре 102 °С), до 110 °С (относят к температуре 110 °С), до 128 °С (относят к температуре 128 °С), до 143 °С (относят к температуре 143 °С), до 149 °С относят к температуре 149 °С) и до 150 °С (относят к температуре 150 °С).

При указанных температурах по полученной эмпирической зависимости определяли долговечность пенополиуретана.

Предполагаемый срок службы (в годах) вычисляли по формуле [6]:

$$\tau = \left(\frac{\tau_1}{\tau_1^1} + \frac{\tau_n}{\tau_n^1}\right) \quad (1)$$

Срок службы теплоизоляции труб из пенополиуретана в зависимости от температурного графика теплоносителя составляет от 30 до 50 лет.

Выводы

Таким образом, применяя современные инструменты моделирования и программное обеспечение возможно задание параметров тепловой сети до начала проектирования и строительства, оценка долговечности, работоспособности и жизненного цикла трубопровода тепловой сети с учетом тех или иных исходных значений, таких как выбор марки стали или типа изоляции. Это именно те параметры тепловой сети, на которые возможно повлиять на этапе проектирования. Если, в случае с подбором диаметра трубопровода, рабочей температуры, глубины залегания трубопровода проектировщик ограничен в выборе, т.к. эти параметры строго регламентированы, то в случае с толщиной стенки или маркой стали стальной трубы существует ограниченная область в соответствии с рекомендациями к проектированию тепловых сетей, а также нормативно-технической документацией (СНиП, СП РК, СН РК).

Принимая во внимание вышеизложенные примеры расчета одного и того же участка теплотрассы, но с различными заданными исходными параметрами, можно говорить о продлении его срока службы с нормативных 30 лет до 50.

Список использованных источников

1 Отчет по определению сферы охвата СЭО. «Стратегическая экологическая оценка (СЭО) Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года». Астана, 2018. С. 22–25.

2 АО «Институт КазНИПИЭнергопром» Презентация «Состояние и перспективы развития централизованного теплоснабжения в Казахстане», Алматы, 2013. С. 1–52.

3 **Умеркин, Г. Х., Майзель, И. Л.** Пути повышения надежности трубопроводов тепловых сетей в индустриальной тепловой изоляции из пенополиуретана // Новости Теплоснабжения. 2008. № 4 (92) С. 44–47.

4 **Мишин, М. Е.** Трубы в ППМ изоляции - современный способ строительства тепловых сетей // Новости теплоснабжения. 2010. № 03 (115). С. 56–59.

5 ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия.

6 Методика интегральной оценки срока службы пенополиуретановой изоляции труб тепловых сетей при переменном температурном графике теплоносителя.

7 Факсограмма АО «Астана-Теплотранзит» от 23.01.2017 г.

References

1 Otchet po opredeleniyu sfery` oxvata SE`O. «Strategicheskaya e`kologicheskaya ocenka (SE`O) Koncepcii razvitiya toplivno-e`nergeticheskogo kompleksa Respubliki Kazaxstan do 2030 goda». [Report on the definition of the scope of SEA. «Strategic environmental assessment (SEA) of the Concept of development of the fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan until 2030»] Astana, 2018. S. 22–25.

2 AO «Institut KazNIPIE`nergoprom» Prezentaciya «Sostoyanie i perspektivy` razvitiya centralizovannogo teplosnabzheniya v Kazaxstane» [JSC «KazNIPIEnergoprom Institute» Presentation «State and prospects of development of centralized heat supply in Kazakhstan»] Almaty`, 2013. S. 1–52.

3 **Umerkin, G. X., Majzel`, I. L.** Puti povy`sheniya nadezhnosti truboprovodov teplovy`x setej v industrial`noj teplovoj izolyacii iz penopoliuretana [Umerkin G. Kh., Maizel I. L. Ways to improve the reliability of heat network pipelines in industrial thermal insulation from polyurethane foam] // Novosti Teplosnabzheniya. 2008. № 4 (92) C. 44–47.

4 **Mishin, M. E.** Truby` v PPM izolyacii - sovremenny`j sposob stroitel`stva teplovy`x setej [Mishin M. E. Pipes in PPM insulation - a modern way of building heat networks] // Novosti teplosnabzheniya. 2010. № 03 (115). S. 56–59.

5 GOST 32388-2013 Truboprovody` texnologicheskie. Normy` i metody` rascheta na prochnost`, vibraciyu i sejsmicheskie vozdejstviya. [GOST 32388-2013 Technological pipelines. Norms and methods of calculation for strength, vibration and seismic effects]

6 Metodika integral`noj ocenki sroka sluzhby` penopoliuretanovoj izolyacii trub teplovy`x setej pri peremennom temperaturnom grafike teplonositelya. [The method of integral estimation of the service life of polyurethane foam insulation of pipes of heat networks under a variable temperature schedule of the heat carrier]

7 Faksogramma AO «Astana-Teplotranzit» [Fax of JSC «Astana-Teplotransit»] ot 23.01.2017 g.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. Ш. Калмагамбетова, Т. А. Богоявленская

Жылу желісінің алдын-ала оқшауланған құбырының ұзақтығың модельдеу

Қарағанды Техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. Sh. Kalmagambetova, T. A. Bogoyavlenskaya

Modeling the lifetime of the preinsulated heating network pipeline

Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.
Material received on 19.03.21.

Берілген мақалада полиэтилен қабығындағы полиуретанды көбіктен жасалған жылу оқшаулағышы бар болаттан жасалған жылу құбырын модельдеу нәтижелерін ұсынады. Зерттеудің негізгі мақсаты жылу құбырларының сенімділігін, қызмет ету мерзімін және өмірлік циклын мамандандырылған бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, жоғары қысымды төмен қысымды полиэтиленнен жасалған полимерлі қабықпен имитациялау болды. Жылу желілерінің жұмыс режимінің мүмкін нұсқасы ұсынылған. Құбырлардың полиуретанды көбік жылу оқшаулауында жоғары тығыздықты төмен қысымды полиэтиленнен жасалған қорғаныш қабығымен жылу желісінің қызмет ету мерзімін ұзарту туралы қорытынды жасалады. Оқшаулау және оқшаулау үшін бастапқы материалдарды таңдау тәуелділігі сипатталған. Жылумен жабдықтау жүйелерінің сенімділігі талданады, бұл жылу құбырларының қызмет ету мерзіміне тікелей байланысты. Интегралды бағалау әдісі бойынша ауыспалы температуралық кестемен жылу желілері құбырларының полиуретанды көбік оқшаулауының қызмет ету мерзімін есептеу ұсынылған.

Кілтті сөздер: жылыту желісі; полимерлі құбырлар; полиэтилен; материалдардың қызмет ету мерзімі, беріктігі және кедергісі.

This paper presents the results of modeling a heat supply pipeline made of steel with thermal insulation from polyurethane foam in a polyethylene sheath. The main objective of the study was to simulate the reliability, service life and life cycle of heat pipes with a polymer sheath made of high-density low-density polyethylene using specialized software. A possible version of the operating mode of heating networks is presented. Conclusions are drawn about increasing the life of pipelines in polyurethane foam thermal insulation with a protective sheath made of high-density low-pressure polyethylene. The dependence of the choice of starting materials for insulation and a protective shell is described. The reliability of heat supply systems, which directly depends on the service life of heat pipes, is analyzed. The calculation of the service life of the polyurethane foam insulation of pipes of heating networks with a variable temperature graph according to the method of integrated assessment is presented.

Key words: heat networks; polymer pipes; polyethylene; service life, strength and resistance of materials.

МРНТИ 50.43.15

https://doi.org/10.48081/TFDT5813

***А. С. Кауанов, Г. И. Паршина, А. В. Сичкаренко**
Карагандинский технический университет,
Республика Казахстан, г. Караганда

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ СТЕНДА-ИМИТАТОРА

Для исследования принципов работы насосной станции разработан стенд-имитатор с частотно-регулируемым управлением. В статье описана конструкция стенда, проведен выбор программной среды для разработки системы управления, а также рассмотрены принципы функционирования стенда. Ввиду того, что механические характеристики насосного оборудования в представлены производителями в графическом виде, цифровое представление такой зависимости затруднено. Проведено исследование методов преобразования графической зависимости в математическую с помощью интерполяции. Проведен анализ найденных методов на возможность программной реализации с сохранением необходимой точности. В исследовании обоснован выбор кусочно-линейного способа интерполяции напорно-расходной характеристики для автоматизации расчета рабочей точки насоса. Практическая значимость проведенного исследования заключается в применении его результатов для разработки программной среды для стенда-имитатора работы насосной станции на базе частотно-регулируемого привода.

Ключевые слова: насосная станция, учебный стенд, рабочая точка, механическая характеристика, напорно-расходная характеристика, интерполяция, формула Лагранжа, кусочно-линейная интерполяция.

Введение

Насосная станция является комплексным инженерным решением для автономной транспортировки жидкости из одной точки в другую. Насосная станция – это электрогидравлический комплекс сооружений и оборудования, задачей которой является преобразование электрической энергии в механическую энергию, и управления этим процессом. В насосных станциях, в отличии от обычных насосов, процесс водоснабжения

автоматизирован, насосная станция способна повышать давление в гидравлической системе для одновременного обеспечения водой различных объектов, а также создает запас воды в баке, которым можно пользоваться в случае отключения электроэнергии. На сегодняшний день насосная станция является универсальным оборудованием, нашедшим применение в, практически всех, сферах человеческой деятельности, включая бытовую и промышленную. Ввиду огромной сферы применения насосных станций, независимо от ее типа, она является актуальным объектом исследования и изучения для инженеров, ученых и студентов по всему миру [1, 2, 3].

Для повышения качества подготовки студентов технических специальностей, ведущие высшие учебные заведения мира используют практику внедрения в программу обучения принципов работы реальных технологических объектов. Для этого кафедры ВУЗов регулярно обновляют и пополняют свою материально-техническую базу, которая в дальнейшем используется студентами для углубленного изучения профильных дисциплин.

Учебное оборудование должно соответствовать современным мировым стандартам, и включать в себя набор элементов, которые можно изучать как по отдельности, так и в рамках единой системы. Данная технология обучения позволяет получить практические навыки работы с реальными объектами управления, что положительно сказывается на формирование профессиональных навыков технических специалистов. ВУЗы, способные предоставлять подобную материально-техническую базу с передовым оборудованием и современным программным обеспечением своим студентам по праву считаются лучшими в мире.

Для изучения процессов управления и регулирования работы насосными установками на кафедре АПП КарТУ был разработан стенд-имитатор работы насосной станции на базе частотно-регулируемого привода. Он предназначен для ознакомления и получения студентами устойчивых навыков по работе с асинхронным двигателем, частотным преобразователем, программируемым логическим контроллером, средствами программирования и визуализации, а также работой насосной станции.

Общий вид стенда представлен на рисунке 1. Управление процессом работы стенда осуществляется с помощью SCADA-системы с ПК. Связь SCADA с ПЛК154-220.А.М. осуществляется через интерфейс Ethernet. В соответствии с заданным режимом работы стенда программа формирует управляющее воздействие и передает его на частотные преобразователи. Частотные преобразователи регулируют скорость вращения асинхронного двигателя контролируется в соответствии с управляющим воздействием 0-10 В приходящего с аналогового выхода ПЛК154-220.А.М. В результате данных воздействий асинхронный двигатель АОЛ 011-2 начинает вращение,

жесткое соединение с тахогенератором СЛ-369 позволяет преобразовывать частоту вращения выходного вала в электрический сигнал, диапазоном 0–10 В. Этот сигнал приходит на аналоговый вход ПЛК154-220.А.М и осуществляет функцию обратной связи с исполнительным механизмом. Данные измерения также отображаются в SCADA-системе. ПЛК154-220.А.М и ПЧВ110-К18-А питаются от сети переменного тока 220В частотой 50 Гц. Питание преобразователей частоты осуществляется через сетевой дроссель РСО-004-А. Для выработки удобного сигнала обратной связи, напряжение на обмотках возбуждения тахогенераторов СЛ-369 принимаем 10 В. Электроизмерительный модуль МЭ110-224.1М снимает показания с сети питания и передает их по протоколу RS-485 на ПЛК154-220.А.М. МУ110-224.8Р – модуль дискретных выводов питается от блока питания БП15Б-Д2 с постоянным напряжением 24 В. Переключение режимов работы асинхронных двигателей осуществляется программном через электромагнитные реле.

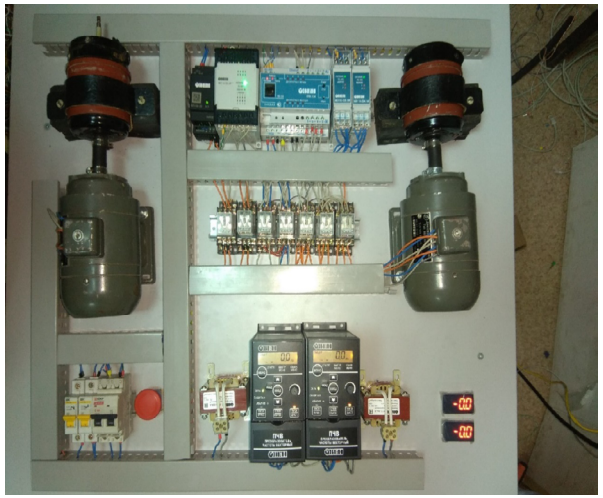


Рисунок 1 – Общий вид стенда
1 – тахогенератор СЛ-369, 2 – асинхронный двигатель АОЛ 011-2, 3 – кнопка аварийного выключения, 4 – автоматические выключатели, 5 – промышленный контроллер фирмы ОВЕН ПЛК154-220.А.М., 6 – электромагнитное реле НН54Р фирмы RUICHI, 7 – частотный преобразователь ПЧВ110-К18-А, 8 – сетевой дроссель РСО-004-А, 9 – измеритель аналоговых сигналов ИТП-14.КР.Щ9.К

В настоящее время заводы изготовители насосного оборудования предоставляют механическую характеристику насосов только в графическом

виде. Для задания режима работы насосной станций специалист вынужден вручную определять рабочую точку при настройке системы. Автоматизация данного процесса позволит оператору ускорить процесс получения значений рабочей точки для различных параметров сети. Целью данного исследования является анализ существующих и выбор оптимального метода перевода напорно-расходной характеристики насосного оборудования в программно реализуемую математическую зависимость.

Материалы и методы

Основной характеристикой насосной станции является рабочая точка. Рабочая точка – это точка пересечения гидравлической характеристики сети и напорно-расходной (механической характеристики) характеристикой насоса (рисунок 2).

Зависимость гидравлического сопротивления от расхода жидкости называется характеристикой сети. Гидравлическая сеть состоит из трубопроводов (всасывающих и нагнетающих), различных фильтров для жидкости, а также запорной и регулирующей арматуры. Каждый из этих элементов характеризуется своими гидравлическими параметрами, а их совокупность таких параметров образуют общую характеристику гидравлической сети. Общую формулу гидравлической сети можно представить в виде

$$f(Q_{\text{сети}}) = H_{\text{ст}} - \varepsilon \cdot Q^2, \quad (1)$$

где $H_{\text{ст}}$ – это статический напор, ε – общий коэффициент гидравлических сопротивлений в сети, Q – расход жидкости в сети [4].

Рисунок 2 – Графический метод поиска рабочей точки

Математическое нахождение рабочей точки представлено в виде корней уравнения $f(Q_{\text{насоса}}) - f(Q_{\text{сети}}) = 0$.. Для нахождения данных корней необходимо получить математическую функцию напорно-расходной характеристики $H = f(Q_{\text{насоса}})$ по графику характеристики насоса. Это можно сделать с помощью метода интерполяции.

Один из самых распространенных методов интерполирования – поиск интерполяционного многочлена по формуле Лагранжа. Данная формула позволяет получить многочлен минимальной степени, принимающий определенные значения в выбранных точках[5]. Для n+1 пар чисел (x_0, y_0), (x_1, y_1),…, (x_n, y_n), существует единственный многочлен L(x) в степени <=n

$$L_n(\mathrm{x}) = \sum_{i=0}^{n} y_i \cdot l_i(\mathrm{x}), \tag{2}$$

где $l_i(\mathrm{x})$ – базисные многочлены степени n:

$$l_i(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq i}}^{n} \frac{\mathrm{x}-\mathrm{x}_j}{\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_j} = \frac{(\mathrm{x}-\mathrm{x}_0)(\mathrm{x}-\mathrm{x}_1)\ldots(\mathrm{x}-\mathrm{x}_{i-1})(\mathrm{x}-\mathrm{x}_{i+1})\ldots(\mathrm{x}-\mathrm{x}_n)}{(\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_0)(\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_1)\ldots(\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_{i-1})(\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_{i+1})\ldots(\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_n)} \tag{3}$$

То есть многочлен Лагранжа можно записать в виде:

$$L_n(\mathrm{x}) = \sum_{i=0}^{n} y_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \frac{\mathrm{x}-\mathrm{x}_j}{\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_j} \tag{4}$$

Многочлен $l_i(\mathrm{x})$ удовлетворяет условию $l_i(x_j) = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$. Исходя из данных условий многочлен будет обращаться в ноль, при каждом кроме . Из этого следует, что $x_0, x_1, \ldots x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots x_n$ будут корнями этого многочлена [6].

Выбор данной формулы для интерполирования графических характеристик насоса не подходит, ввиду невозможности предсказания степени n полинома Q при выполнении расчета, что делает затруднительным программную реализацию расчета рабочей точки. К тому же, в зависимости $H = f(Q_{\text{насоса}})$ при поиске корней уравнения $f(Q_{\text{насоса}}) - f(Q_{\text{сети}}) = 0$, при степени n>3 полинома Q количество корней увеличивается, причем добавляются комплексные корни, реализовать которые физически не является возможным.

Поэтому для решения данной задачи предлагается использовать кусочно-линейную интерполяцию, разбивая характеристику на большее количество отрезков. В данной работе будет использоваться не более 10 точек, но при повышении их количества будет расти точность. Пример кусочно-линейной интерполяции представлен на рисунке 3.

Кусочно-линейная интерполяция заключается в соединении прямыми отрезками точек, заданных каким-либо образом. То есть функция в данном случае представляется в виде ломанной, а в отрезках на заданном интервале, функция является приближенной к интерполируемой. Суть данного метода интерполяции заключается в получении приближенного значения функции в точке x с помощью подстановки известных точек в формулу (5). Таким образом для i-го интервала, функции на данных отрезках рассчитываются как прямые, проходящие через две точки [7]:

$$\frac{y-y_{i-1}}{y_i-y_{i-1}} = \frac{\mathrm{x}-\mathrm{x}_{i-1}}{\mathrm{x}_i-\mathrm{x}_{i-1}} \tag{5}$$

Отсюда

$$H = f(Q) = y = k_i\mathrm{x} + b_i, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i \tag{6}$$

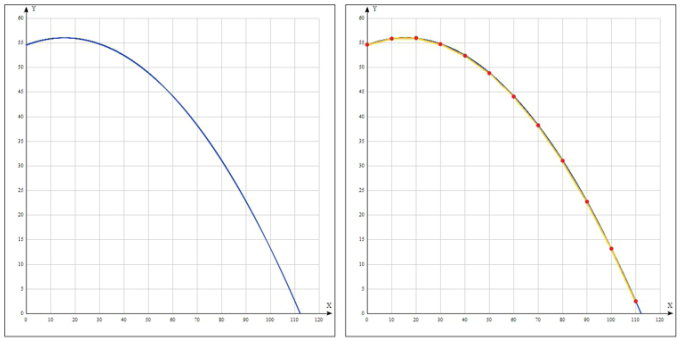


Рисунок 3 – Пример кусочно-линейной интерполяции кривой функции f(x)

Результаты и обсуждение

Для исследования значений погрешности был проведен сравнительный анализ значений многочлена

$$y(x) = -0{,}006x^2 + 0{,}188x + 54{,}513 \tag{7}$$

с значениями его интерполированной функции. Данный многочлен был использован для имитации напорно-расходной характеристики центробежного насоса, так как повторяет типовую для такого оборудования графическую зависимость. Для интерполяции будут использованы точки x_1=0 и x_2=10, по формуле многочлена y_1=54,513 и y_2=55,739, тогда линейной формулой прямой через эти точки будет

$$y(x) = \frac{1{,}3x+545}{10} \quad (8)$$

Результаты вычислений представлены в таблице 1. Из нее видно, что погрешность при использовании кусочно-линейной интерполяции минимальная и удовлетворяет техническим требованиям (рисунок 4).

Таблица 1 – Сравнительный анализ значений многочлена полученных с помощью формулы многочлена и интерполяционной формулы

x	Y при вычислении по формуле многочлена	Y при вычислении по интерполяционной формуле	Относительная погрешность вычислений
0	54.513	54.5	0,02 %
1	54.695	54. 63	0,12 %
2	54.865	54.76	0,19 %
3	55.023	54.89	0,24 %
4	55.169	55.02	0,27 %
5	55.303	55.15	0,28 %
6	55.425	55.28	0,26 %
7	55.535	55.41	0,23 %
8	55.633	55.54	0,17 %
9	55.719	55.67	0,09 %
10	55.793	55.8	0,01 %

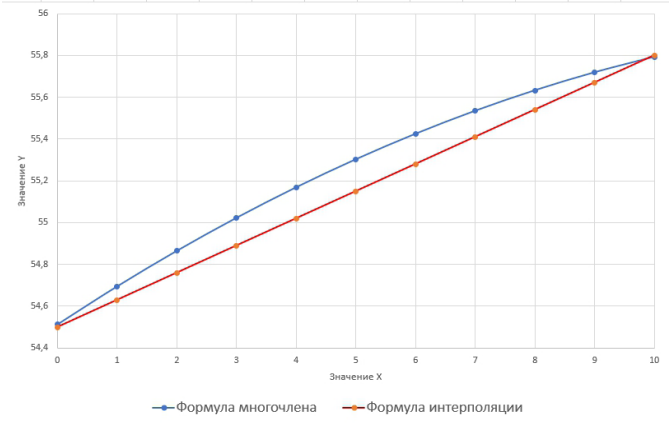


Рисунок 4 – Сравнительный график значений многочлена, полученных по формуле многочлена и по интерполированной формуле

Полученная зависимость будет использоваться следующим образом: при вводе оператором значений механической характеристики в программе будет осуществляться интерполяция функции по заданным точкам и в определенных промежутках $H = f(Q_{\text{насоса}})$ будет детерминирована и представлена линейной зависимостью с полиномом первого порядка. Решение дифференциального уравнения второго порядка

$$f(Q_{\text{насоса}}) - f(Q_{\text{сети}}) = k_i x + b_i - H_{\text{ст}} - \varepsilon \cdot x^2 , \quad (6)$$

$$\varepsilon \cdot x^2 - k_i x + (H_{\text{ст}} - b_i) = 0, \quad (7)$$

дает два корня, один из которых будет либо 0 либо отрицательным, а оставшийся корень будет является решением и искомой рабочей точкой насоса.

Выводы

Автоматизация процесса расчета рабочей точки насоса на данный момент является проблемной задачей, ввиду того, что производители насосного оборудования представляют напорно-расходные зависимости в графическом виде. В результате исследования был выбран оптимальный метод перевода графической зависимости напорно-расходной характеристики насоса в математическую зависимость. Из множества способов интерполяции после аналитического исследования был выбран кусочно-линейный способ. Благодаря проведенному исследованию методика изучения и исследования работы насосных установок на базе стенда-имитатора позволит пользователю вводить характеристики нескольких насосов и сети, а рабочая точка всей системы будет рассчитываться автоматически из заданных параметров, что позволит системе управления вырабатывать управляющее воздействие для непрерывной работы технологического процесса.

Список использованных источников

1 **Моргунов, К. П.** Насосы и насосные станции: учебное пособие. – Изд. 3-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 307 с.

2 **Васильев, В. М., Федоров, С. В., Кудрявцев, А. В.** Насосы и насосные станции: учебное пособие. – СПбГАСУ. – СПб., 2017. – Ч.I. – 131 с.

3 **Лезнов, Б. С.** Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М. : Машиностроение, 2013. – 176 с.

4 **Геварев, А. А.** Теория расчёта и эквивалентирования гидравлических сетей : [монография]; – Иваново: ГОУВПО «Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина», 2010. – 180 с.

5 **Федоровский, К. Ю.** Аппроксимация полианалитическими многочленами – М. : ИПМ им. М. В. Келдыша, 2016. – 197 с.

6 **Шевалдин, В. Т.** Аппроксимация локальными сплайнами; – РАН, Уральское отделение, институт математики и механики. – Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2014. – 196 с.

7 **Левин, Ю. И., Шешукова, С. Е., Садовников, А. В.** Введение в численные методы решения физических задач. Часть 1. Теория интерполяции. – Учебно-методическое пособие. – Саратов: СГУ, 2015. – 39 с.

8 **Чебаевский, В. Ф., Вишневский, К. П., Накладов, Н. Н.** Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. – М. : Колос, 2010. – 376 с., ил.

9 **Николаев, В. Г.** Энергосберегающие методы управления режимами работы насосных установок систем водоснабжения и водоотведения. – Автореф. док. техн. наук. – М., 2010. – 17с.

10 **Минаев, И. Г.** Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 128 с.

References

1 **Morgunov, K. P.** Nasosy' i nasosny'e stancii: uchebnoe posobie [Pumps and pumping stations: a tutorial]. – Ed. 3rd, erased. – St. Petersburg: Lan, 2019. – 307 p.

2 **Vasiliev, V. M., Fedorov, S. V., Kudryavtsev, A. V.** Nasosy' i nasosny'e stancii: uchebnoe posobie [Pumps and pumping stations: a tutorial]. – SPbGASU. – SPb., 2017. – Part I. – 131 p.

3 **Leznov, B. S.** Chastotno-reguliruemy'j e'lektroprivod nasosny'kh ustanovok [Frequency-controlled electric drive of pumping units]. – M. : Machinery, 2013. – 176 p.

4 **Gevarev, A. A.** Teoriya raschyota i e'kvivalentirovaniya gidravlicheskikh cetej [Theory of calculation and equivalent of hydraulic networks]: [monograph]; – Ivanovo: GOUVPO «Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin», 2010. – 180 p.

5 **Fedorovsky, K. YU.** Approksimatciya polianaliticheskimi mnogochlenami [Approximation by polyanalytic polynomials], – Moscow: Institute of Applied Mathematics named after M. V. Keldysh, 2016. – 197 p.

6 **Shevaldin, V.T.** Approksimatciya lokalny'mi splainami [Local spline approximation]; – RAS, Ural Branch, Institute of Mathematics and Mechanics. – Ekaterinburg : UMTs UPI, 2014. – 196 p.

7 **Levin, YU. I., Sheshukova, S. E., Sadovnikov, A. V.** Vvedenie v chislenny'e metody' resheniya fizicheskikh zadach. Chast' 1. Teoriya interpolyacii

[Introduction to numerical methods for solving physical problems. Part 1. Theory of interpolation]. – Study guide. – Saratov : SSU, 2015. – 39 p.

8. **Chebaevsky, V. F, Vishnevsky, K. P, Nakladov, N. N.** Proektirovanie nasosny'kh stancii i ispy'tanie nasosny'kh ustanovok [Design of pumping stations and testing of pumping units]. – M. : Kolos, 2010. – 376 p., Ill.

9. **Nikolaev, V. G.** E'nergosberegayushhie metody' upravleniya rezhimami raboty' nasosny'kh ustanovok system vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Energy-saving methods of control of operating modes of pumping units of water supply and water disposal systems]. – Author's abstract. doc. tech. sciences. – M., 2010. – 17 p.

10. **Minaev, I. G.** Programmiruemy'e logicheskie kontrollery' v avtomatizirovanny'kh sistemakh upravleniya [Programmable logic controllers in automated control systems]. – 2nd ed., Rev. and add. – Stavropol: AGRUS, 2010. – 128 p.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. С. Кауанов, Г. И. Паршина, А. В. Сичкаренко

Ұқсатқыш стенд негізінде сорғыш құрылғыларының жұмысын зерттеу әдісін дамыту

Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

S. Kauanov, G. I. Parshina, A. V. Sichkarenko

Development of methodology for studying the operation of pumping units on the basis of a stand-simulator

Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.
Material received on 19.03.21.

Сорғы станциясының жұмыс істеу принциптерін зерттеу үшін жиілігі бақыланатын басқару стенд-имитатор жасалды. Мақалада стендтің дизайны, басқару жүйесін дамытуға арналған бағдарламалық ортаны таңдау сипатталған, сонымен қатар стендтің жұмыс істеу принциптері қарастырылған. Сорғы жабдықтарының механикалық сипаттамаларын өндірушілер графикалық түрде ұсынғандықтан, мұндай қатынастың сандық көрінісі қиынға соғады. Интерполяция көмегімен графикалық тәуелділікті математикалық түрге айналдыру әдістерін зерттеу. Табылған әдістерді талдау қажетті дәлдікті сақтай отырып, бағдарламалық қамтамасыз етуді жүзеге асыру

мүмкіндігі үшін жүргізіледі. Зерттеу сорғының жұмыс нүктесін есептеуді автоматтандыру үшін қысым-ағын сипаттамасын интерполяциялаудың сызықтық әдісін таңдауды негіздеді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы оның нәтижелерін ауыспалы жиілік жетегі негізінде сорғы станциясының жұмысының симуляторы үшін бағдарламалық ортаны құру үшін қолдануда жатыр.

Кілтті сөздер: сорғы станциясы, оқыту стенді, сорғының жұмыс нүктесі, механикалық сипаттама, қысым ағынының сипаттама, интерполяция, Лагранж формуласы, кесек-сызықты интерполяция.

To study the principles of operation of the pumping station, a simulator with frequency-controlled control has been developed. The article describes the design of the stand, the choice of the software environment for the development of the control system, and also considers the principles of the operation of the stand. Due to the fact that the mechanical characteristics of pumping equipment are presented by manufacturers in a graphical form, a digital representation of such a relationship is difficult. The study of methods for converting graphical dependence into mathematical one using interpolation is carried out. The analysis of the found methods is carried out for the possibility of software implementation while maintaining the required accuracy. The study substantiated the choice of a piecewise linear method of interpolation of the pressure-flow characteristic to automate the calculation of the operating point of the pump. The practical significance of the study lies in the application of its results for the development of a software environment for a simulator of the pumping station operation on the basis of a variable frequency drive.

Keywords: pumping station, educational stand, pump operating point, mechanical characteristic, pressure-flow characteristic, interpolation, Lagrange formula, piecewise-linear interpolation.

МРНТИ 53.31.21

https://doi.org/10.48081/HZGO9935

Б.С. Келаманов, М. К. Алдияр, А. М. Акуов,
Е. К. Самуратов, А. М. Обилец, М.М. Булатов
Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актобе

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ ИЗ ОКУСКОВАННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД

В статье рассмотрены способы использования некондиционных окисленных никелевых руд. Известные способы окускования и выплавки ферроникеля не получили широкого распространения в промышленных масштабах и не полностью изучены. Проведенные опыты с использованием никелевого сырья показали принципиальную возможность получения брикетов и гранулы с дальнейшей выплавкой ферроникеля с содержанием никеля в пределах 2–3 %, пригодного для передела на специальные марки стали.

Ключевые слова: брикеты, окатыши, гранулы, окускование, ферроникель, сталь.

Введение

Актюбинская область является одной из богатейших кладовых рудных запасов Республики Казахстан. Здесь находятся практически все запасы высококачественных хромовых руд; до 55–60 % никеля в форме окисленных никелевых руд; 10–15 % запасов медных руд; 45 % титановых и циркониевых руд, а также значительные месторождения россыпного золота. Область обладает определенными запасами марганцевых и железных руд. Известными никельсодержащими являются месторождения Батамшинское, Рождественское, Никельтауское, Кокпектинское. Содержание никеля в них примерно 0,8–1,2 %. Указанные руды в основном представлены мелкими фракциями, поэтому одним из возможных путей вовлечения бедного металлургического сырья на ферросплавный передел является подготовка его различными видами окускования: агломерацией, окомкованием и брикетированием со связующими или без них.

Материалы и методы

Так как, никельсодержащие руды Актюбинской области представлены мелкими фракциями требуется провести исследования по видам окускования. Окатывание, брикетирование и агломерация являются традиционными методами подготовки металлургического сырья, сохраняющими значение до настоящего времени и имеющими перспективу дальнейшего неуклонного развития [1]. Эти методы подготовки позволяют значительно сократить расход электроэнергии при плавке, улучшить технологию, упростить эксплуатацию печных агрегатов и вовлечь в сферу металлургического передела все более бедные руды [2].

После результатов изучения никельсодержащих руд по методам окускования, необходимо продолжить исследования по проведению металлургической оценки с выплавкой на ферроникель.

Резаультаты и обсуждение

Брикетирование - процесс термохимической переработкой мелких слабо структурных руд, концентратов и отходов производства с целью получения из них брикетов-кусков геометрически правильной единообразной формы и постоянных размеров. По современной технологии брикетирование может осуществляться с использованием связующих материалов и без них. Применяют несколько видов связующих материалов: сульфит-спиртовую барду (ССБ), сульфитные щелоки (СЩ), жидкое стекло, каменноугольную смолу, известь, различные комбинированные связующие – смесь каменноугольной смолы и гудрона, каменноугольного пека и ССБ (СЩ), извести и кварцевых материалов (трепел, кварц и др.), извести и жидкого стекла и другие.

Таблица 1 – Технологические параметры и качество брикетов полученных из отечественной никелевой руды

Параметры и показатели	Единицы измерения	Показатели
1 Сырые брикеты: – сопротивление раздавливанию – расход связующего по твердому	 кг/брикет %	 10–20 8–10
2 Сушка брикетов: – температура – время сушки	 ˚С час	 250–300 1–2
3 Готовые брикеты: – сопротивление раздавливанию – прочность на удар – прочность на истирание – диаметр брикетов	 кг/брикет % % мм	 50-60 60,0 25–30 1,5–2,0

С целью определения возможности окускования никелевой руды фракции 0–3мм были проведены исследования по брикетированию на лабораторной пресс-установке с максимальным допустимым давлением 250кгс/см^2. Для изучения процесса прессования использовали отечественную никелевую руду с химическим составом, % ($Ni_{общ}$ – 1,23; $Fe_{общ}$ – 14,38; $Cr_{общ}$ – 1,69; SiO_2 – 51,57; MgO – 3,52; Al_2O_3 – 1,87), в смеси с длиннопламенным углем, с техническим составом ($C_{тв}$ - 49,99; $V_{лет}$ – 37,98; A^c – 2,03; $W_{вл}$ – 10). В качестве связующего материала при брикетировании использовали жидкого стекло. Расход связующего материала (жидкое стекло) в зависимости от силикатного модуля варьировалось в пределах 8-10% по массе. В результате получены брикеты [3] из никелевой руды диаметром 15–20 мм и высотой 15–25 мм (рисунок 1) с прочностью на сжатие 50–60 кг/брикет. Технологические характеристики изготовленных брикетов обобщены в таблице 1.

Полученные брикеты были разделены на классы крупности для определения выхода годной фракции при сбрасывании с высоты 2 метров, что является приемлемым для металлургического передела. Фракционный состав брикетов приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Фракционный состав брикетов из никелевой руды и длиннопламенного угля при сбрасывании с высоты 2м

Фракция, мм	Выход, %	Выход, гр
+0–0,5	0,23	0,16
+0,5–1,5	0,45	0,31
+1,5–3	0,92	0,62
+3–5	0,83	0,57
+5	97,57	66,7
∑	100	68,36
+3–5 и +5	98,4	67,27

Как видно из таблицы 2, основную долю полученных брикетов (>97 %) составляет фракция +5мм, что вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к шихтовым материалам по классу крупности.

Окомкование – получение окатышей – процесс окускования увлажненных тонко измельченных материалов, основанный на способности их при перекатывании образовывать гранулы сферической формы (окатыши) без применения непосредственного давления. Для упрочнения сырые окатыши подвергают сушке, обжигу или другим видам обработки (упрочнению безобжиговыми методами).

К наиболее важным факторам, определяющим комкуемость различных материалов, относятся крупность частиц, их влажность, а также физические свойства, характеризующие взаимодействие частиц с водой, такие как краевой угол смачивания, молекулярная и капиллярная влагоемкость. Мелкая никелевая руда фракции 0–3 мм забивает поры в шихте и мешает выходу печных газов, что неблагоприятно влияет на физические и химические процессы в руднотермической печи. Поэтому никелевая руда должна быть направлена на агломерацию или на приготовление брикетов или гранул для руднотермической печи. Учитывая то, что в руде присутствует глинистые включения, служащие в качестве связующего наиболее прогрессивным способом является гранулирование (окатывание) руд.

Рисунок 1 – Брикеты полученной из никелевой руды

Для получения окатышей из данных никелевых руд в шихту ввели кокс, уголь и в качестве увлажнителя служила вода. Серия экспериментов была проведена с целью получения гранул из никелевых руд без предварительного измельчения. В результате опытов сделан вывод об удовлетворительной окатываемости никелевой руды крупностью 0–3мм.

Лабораторные исследования для получения окатышей были проведены на малом лабораторном чашевом грануляторе с диаметром чаши 380мм и высотой борта 80мм. Из приготовленной смеси бралась навеска, которая постепенно загружалась в чашу при одновременном медленном добавлении связующего. Скорость вращения составила 20–25 об/мин, углом наклона 40˚. Время окатывания никелевой руды менялось от 10 минут до 30 минут. Чем больше времени затрачено на гранулирование, тем прочнее получаются гранулы. Скорость при этом была постоянной. Регулировка скорости вращения чаши производилась изменением подаваемого на двигатель напряжения с помощью автотрансформатора. Специальным ножом снималась налипающая на стенки чаши несгранулировавшаяся

масса. Полученные гранулы (рисунок 2) высушивались в сушильном шкафу при 100˚С и подвергались нескольким видам исследований по качеству. Показателем прочности служил процент целых гранул от общего количества подвергнутых испытанию, а показателем истираемости – процент истертой массы от общего веса взятой пробы [4–7]. Технологические параметры и качество никелевых окатышей приведены в таблицах 3 и 4.

Для подтверждения полученных результатов повторно провели исследование на гранулируемость никелевой руды месторождении Батамшы крупностью 0–3 мм.

В качестве восстановителя использовали длиннопламенный уголь. Также, как и в предыдущей серии опытов, из приготовленной смеси бралась навеска, которая окомковывалась в чаше при медленном добавлении связующего. Скорость вращения не менялось, и составила 20–25 об/мин, угол наклона 40˚. Время окатывания никелевой руды менялось от 15 минут до 35 минут.

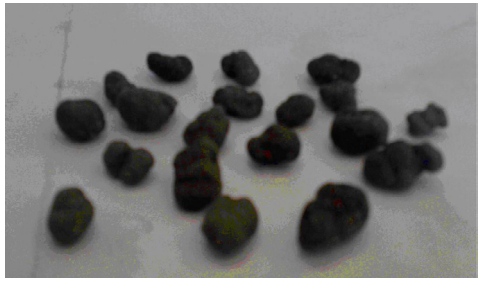


Рисунок 2 – Гранулы, полученные из никелевой руды и восстановителей

Таблица 3 – Технологические параметры и качество никелевых окатышей с металлургическим коксом

Параметры	Кокс
Вес сырых окатышей, %	100
Прочность сырых окатышей, кг/окатыш	3,8–3,9
Прочность на сбрасывание (30 см) сырых окатышей	10–20
Вес высушенных окатышей, %	85,1
Прочность высушенных окатышей, кг/окатыш	10,1–10,2
Прочность на сбрасывание (30 см) высушенных окатышей	20–30
Вес обожженных окатышей, %	81,8
Прочность окатышей, обожженных при 100˚С	20–21
Прочность на сбрасывание (30 см) обожженных окатышей	30–50
Расход связующего (воды), %	14,6

Гранулируемость окатышей, %	73,6
Расход восстановителя, %	6–7
Средний вес окатышей, гр	2–4
Средний диаметр окатышей, мм	10–12

Таблица 4 – Технологические параметры и качество никелевых окатышей с длиннопламенном углем

Параметры	Уголь
Вес сырых окатышей, %	100
Прочность сырых окатышей, кг/окатыш	1,5–1,6
Прочность на сбрасывание (30 см) сырых окатышей	10–15
Вес высушенных окатышей, %	84,1
Прочность высушенных окатышей, кг/окатыш	5,5–5,6
Прочность на сбрасывание (30 см) высушенных окатышей	20–25
Вес обожженных окатышей, %	81,5
Прочность окатышей, обожженных при 100˚С	11–12
Прочность на сбрасывание (30 см) обожженных окатышей	25–35
Расход связующего (воды), %	10,9
Гранулируемость окатышей, %	85,1
Расход восстановителя, %	8–10
Средний вес окатышей, гр	3,0–5,0
Средний диаметр окатышей, мм	13–17

Как показали данные исследования окатышей на прочность и истирание, время окатывания достаточно в пределах 15–20 минут. Время сушки также влияет на прочность окатышей. Чем больше сушатся гранулы, тем они прочнее. Время сушки в пределах 1–3 суток является удовлетворительным. Данные исследования проводились с целью выяснения гранулируемости никелевой руды и определения оптимальных условий получения окатышей.

Для улучшения механических свойств полученных брикетов и окатышей необходимо продолжить исследования по проведению металлургической оценки с выплавкой на ферроникель. Полученный ферроникель вполне может служить для легирования специальных марок сталей. С такой целью были проведены лабораторные исследования по выплавке ферроникеля из окускованных материалов высокотемпературной печи Таммана. В качестве шихтовых материалов использовали никелевые концентраты в смеси с восстановителями. Предварительно перемешанную шихтовую

смесь засыпали в графитовый тигель и помещали в печь, нагретую до температуры 150 °С. В интервале температур 1500–1550 °С происходило полное проплавление шихтовых материалов. После расплавления сплав выдерживался в печи в течение 30 минут при температуре 1600 °С. Результаты проведенных лабораторных плавок приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав продуктов плавки

Материал	Содержание, %							
Ферроникель	Ni	Cr	Fe	Si	C	S	P	Co
Проба 1	3,21	3,40	70,57	24,90	0,60	0,005	0,021	0,037
Проба 2	2,96	2,60	73,69	19,19	1,01	0,004	0,003	-
Шлак	NiO	Cr_2O_3	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	CoO
Проба 1	0,102	0,58	7,72	77,00	2,48	1,76	10,09	0,038
Проба 2	0,069	0,36	5,94	66,48	16,42	1,76	3,75	-

Выводы

Проведенные опытные плавки показали принципиальную возможность получения ферроникеля с содержанием никеля в пределах 2–3 %, пригодного для выплавки отдельных видов легированных специальных марок стали [8–10].

В целом, разрабатываемая технология является перспективной и актуальной, так как решает проблему дефицита и дороговизны никельсодержащих сплавов путем выплавки ферроникеля из некондиционных никелевых руд Казахстана. Учитывая, что в данном регионе преобладают запасы никелевых руд, одним из перспективных направлений является производство нержавеющих и специальных сталей на никелевой основе. Основанием для организации производства нержавеющих марок стали являются также возрастающие потребности внутреннего рынка Казахстана.

Список использованных источников

1 **Малышев, В. П., Телешов, К. Д., Нурмагамбетова, А. М.** Разрушаемость и сохранность конгломератов. – Алматы : НИЦ «Гылым», 2003. – 336 с.

2 **Гран, Н. И., Онищин, Б. П., Майзель, Е. И.** Электроплавка окисленных никелевых руд. – Москва : Издательство «Металлургия», 1971. – 248 с.

3 **Келаманов, Б. С., Толымбеков, М. Ж., Байсанов, А. С., Чекимбаев, А. Ф.** Особенности брикетирования хромоникелевых руд месторождения Батамша // Материалы межд. науч. – практ. конф. «Комплексная переработка минерального сырья» – Караганда, 2008. – С. 101–103.

4 **Келаманов, Б. С., Байсанов, А. С., Толымбеков, М. Ж., Каскин, К. К.** Окомкование мелочи хромоникелевых руд месторождения Батамша // Комплексное использование минерального сырья. – 2008. – № 5. – С. 56–60.

5 **Нозаки, Т., Яцуруги, Ю., Акияма, Н.** // Электрохим. Soc. 1970. V. 117. N 12. P. 1566–1568.

6 **Хаас, Э., Брандт, У., Мартин, Дж.** / / Твердотельный электрон. 1969. V. 12. N 11. P. 915–921.

7 **Бин, А. Р., Ньюман, Р. С.** // J. Phys. Хим.. Примеси. 1971. V. 32. N 6. P. 1211–1219.

8 **Келаманов, Б., Толымбеков, М., Каскин, К., Байсанов, А.** Термический анализ агломерированной никелевой руды // Труды 12-го Международного конгресса ферросплавов: устойчивое будущее, 2010, С. 657–659.

9 **Толымбеков, М. Ж., Келаманов, Б. С., Байсанов, А. С., Каскин, К. К.** Переработка хромоникелевой руды Казахстана // Сталь в переводе, 2008, 38(8), С. 660–663.

10 **Келаманов, Б., Самуратов, Ю., Жумагалиев, Ю., Акуов, А., Сариев, О.** Анализ термодинамических диаграмм систем оксидов титана и хрома. Металлург, 2020 (59) 1, С. 101–102.

References

1 **Maly`shev, V. P., Teleshov, K. D., Nurmagambetova, A. M.** Razrushaemost` i soxrannost` konglomeratov. [Malyshev V. P., Teleshov K. D., Nurmagambetova A.M. Destructibility and preservation of conglomerates] – Almaty` : NICz «Gy`ly`m», 2003. – 336 s.

2 **Gran, N. I., Onishhin, B. P., Majzel`, E. I.** E`lektroplavka okislenny`x nikelevy`x rud. [Gran N. I., Onishchin B. P., Maizel E. I. Electric melting of oxidized nickel ores] – Moskva : Izdatel`stvo «Metallurgiya», 1971. – 248 s.

3 **Kelamanov, B. S., Toly`mbekov, M. Zh., Bajsanov, A. S., Chekimbaev, A. F.** Osobennosti briketirovaniya xromonikelevy`x rud mestorozhdeniya Batamsha [Kelamanov B. S., Tolymbekov M. Zh., Baysanov A. S., Chekimbayev A. F. Features of briquetting of chromium-nickel ores of the Batamsha deposit // Materials of the International scientific Conference] // Materialy` mezhd. nauch. – prakt. konf. «Kompleksnaya pererabotka mineral`nogo sy`r`ya» – Karaganda, 2008. – S. 101–103.

4 **Kelamanov, B. S., Bajsanov, A. S., Toly`mbekov, M. Zh., Kaskin, K. K.** Okomkovanie melochi xromonikelevy`x rud mestorozhdeniya Batamsha [Kelamanov B. S., Baysanov A. S., Tolymbekov M. Zh., Kaskin K.

K. Pelletizing of small items of chromium-nickel ores of the Batamsha deposit] // Kompleksnoe ispol`zovanie mineral`nogo sy`r`ya. – 2008. – № 5. – S. 56–60.

5 **Nozaki, T., Yaczurugi, Yu., Akiyama, N.** // E`lektroxim. Soc. [Nozaki T., Yatsurugi Y., Akiyama N. // Electrochem. Soc.] 1970. V. 117. N 12. P. 1566–1568.

6 **Xaas, E`., Brandt, U., Martin, Dzh.** / / Tverdotel`ny`j e`lektron. [Haas E., Brandt W., Martin J. // Solid State Electron] 1969. V. 12. N 11. P. 915–921.

7 **Bin, A. R., N`yuman, R. S.** // J. Phys. Xim. Primesi. [Bean A. R., Newman R. C. // J. Phys. Chem. Solids] 1971. V. 32. N 6. P. 1211–1219.

8 **Kelamanov, B., Toly`mbekov, M., Kaskin, K., Bajsanov, A.** Termicheskij analiz aglomerirovannoj nikelevoj rudy` [Kelamanov, B., Tolymbekov, M., Kaskin, K., Baisanov, A. Thermal analysis of agglomerated nickel ore] // Trudy` 12-go Mezhdunarodnogo kongressa ferrosplavov: ustojchivoe budushhee, 2010, S. 657–659.

9 **Toly`mbekov, M. Zh., Kelamanov, B. S., Bajsanov, A. S., Kaskin, K. K.** Pererabotka xromonikelevoj rudy` Kazaxstana [Tolymbekov, M.Zh., Kelamanov, B. S., Baisanov, A. S., Kaskin, K. K. Processing Kazkahstan's chromonickel ore] // Stal` v perevode, 2008, 38(8), S. 660–663.

10 **Kelamanov, B., Samuratov, Yu., Zhumagaliev, Yu., Akuov, A., Sariev, O.** Analiz termodinamicheskix diagramm sistem oksidov titana i xroma. Metallurg, [Kelamanov, B., Samuratov, Y., Zhumagaliyev, Y., Akuov, A., Sariev, O. Titanium and chrome oxides system thermodynamic diagram analysis. Metalurgija,] 2020 (59) 1, S. 101–102.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Б. С. Келаманов, М. К. Алдияр, А. М. Акуов, Е. К. Самуратов, А. М. Обилец, М. М. Булатов

Кесектелген никель кендерінен ферроникель алу технологиясын зерттеу

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

B. S. Kelamanov, A. K. Aldiyar, A. M. Akuov, Ye. K. Samuratov, A. M. Obilets, M. M. Bulatov

Research on the technology for producing ferronickel from nickel-oxide ores

Aktobe Regional University after named K. Zhubanov,
Republic of Kazakhstan, Aktobe.

Material received on 19.03.21.

Мақалада жарамсыз тотыққан никель кендерін пайдалану әдістері қарастырылған. Ферроникельді кесектеу және балқытудың белгілі әдістері өнеркәсіптік ауқымда кең таралмады және толық зерттелмеді. Никель шикізатын қолдана отырып брикеттер мен түйіршіктер алу болаттың арнайы маркаларына арналған жарамды құрамды 2–3 % шегіндегі никель бар ферроникельді балқыту тәжірибелері мүмкін екенін көрсетті.

Кілтті сөздер: брикеттер, шекемтастар, түйіршіктер, тегістеу, ферроникель, болат.

The article discusses the ways of using substandard oxidized nickel ores. The known methods of ferronickel pelletizing and smelting are not widely used on an industrial scale and have not been fully studied. Experiments with the use of nickel raw materials have shown that it is possible to obtain briquettes and pellets with further smelting of ferronickel with a nickel content of 2–3 %, suitable for conversion to special steel grades.

Keywords: briquettes, pellets, pellets, pelletizing, ferronickel, steel.

МРНТИ 50.43.15

https://doi.org/10.48081/NDBZ5860

***И. О. Косяков, М. Ю. Полушин**
Академия КНБ, Республика Казахстан, г. Алматы

ПОДБОР И ТЕСТИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье рассматривается вопрос подбора и тестирования коэффициентов ПИД-регулятора в системах кондиционирования мобильных комплексов. Подбор пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов является одной н важнейших задач, так как позволяет обеспечить оптимальный режим работы кондиционера. Для достижения поставленной цели применяется методика проведения эксперимента. Проводится практическое исследование с использованием программируемого контроллера фирмы «ОВЕН» и приложения «OwenLogic». Разрабатывается структурная схема стенда для проведения исследования. Рассматриваются методы амплитудного оптимума, Стогестада, Циглера-Никольса, приводятся способы нахождения коэффициентов ПИД-регулятора данными методами, а также их результирующие значения, полученные либо теоретическим, либо практическим методами. Приводятся результаты установки коэффициентов в ПИД-регулятор, проводится сравнение полученных результатов и подводится итог об эффективности и надежности всей системы при использовании того или иного метода. В статье, в иллюстрированной форме, приводится выходное значение мощности ПИД-регулятора, а также описывается процесс получения данного результата. В ходе работы выясняется, что все методы обеспечивают плавное регулирование, но для применения в системах кондиционирования мобильных комплексов наиболее подходящим является метод Циглера-Никольса. Данный вывод делается на основе анализа величины того или иного коэффициента ПИД-регулятора.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, коэффициенты ПИД-регулятора, автоматизация систем кондиционирования воздуха, надежность автоматики, OwenLogic.

Введение

ПИД-регулятор является настраиваемым компонентом системы автоматизации кондиционирования воздуха мобильных комплексов. Подбор его пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентом является одной н важнейших задач, так как позволяет обеспечить оптимальный режим работы кондиционера [1, 2]. На сегодня существует большое количество методов, и как правило, все они практические, т.е. без физического наличия контроллера и некоторых других компонентов правильно подобрать коэффициенты ПИД-регулятора не получится. Основной задачей, которая стоит перед ПИД-регулятором в мобильном комплексе – это плавный запуск компрессора, подогревающих ТЭНов и вентиляторов для обеспечения как можно меньшей нагрузки на данные компоненты, а также электросеть. Исходя из вышесказанного необходимо обеспечить плавный и сравнительно долгий процесс повышения выходной мощности ПИД-регулятора до 100 %.

Объект исследования: мобильные комплексы.

Предмет исследования: коэффициенты ПИД-регуляторов.

Материалы и методы

Для подбора коэффициентов ПИД-регулятора и управления процессом нагрева воздуха автоматизированной системы кондиционирования воздуха будет применяться программируемое реле ПР 102-24.2416.06.1 компании «ОВЕН».

В качестве датчика температуры будет выступать датчик влажности и температуры ПВТ100-Н4.2.И.2 компании «ОВЕН». Данный промышленный датчик предназначен для непрерывного преобразования относительной температуры и влажности в два унифицированных сигнала 4...20 мА.

Более подробные характеристики программируемого реле и датчика температуры приведены в источнике [3], также в данном источнике можно ознакомиться с разработанным алгоритмом автоматизации процесса подогрева воздушной массы, а также, непосредственно, с самой программой, которая будет загружаться в контроллер.

Для снятия характеристик, а также настройки ПИД-регулятора к аналоговому выходу будет подключен осциллограф Agilent. В общем виде схема стенда для исследования приведена на рисунке 1.

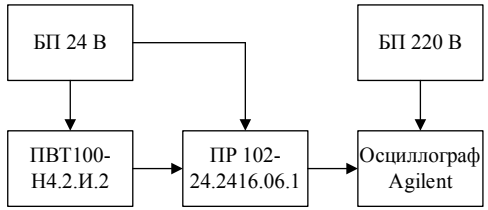


Рисунок 1 – Стенд для настройки коэффициентов ПИД-регулятора

На сегодня существует довольно большое количество методов настройки ПИД-регуляторов, которые включают в себя метод амплитудного оптимума, Стогестада, Куна, Шеделя и множество других методов [4, 5, 6, 7, 8]. Для оптимальной настройки ПИД-регулятора рассмотрим некоторые из них.

Метод амплитудного оптимума заключается в поддержании на уровне единицы величины передаточной функции замкнутого контура регулирования по управляющему воздействию [4]. В этом случае передаточная функция регулятора будет меть вид:

$$w(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (1)$$

где k_i, k_d, k_p – интегральный, дифференциальный и пропорциональный коэффициенты ПИД-регулятора.

Коэффициенты могут быть найдены путём вычисления матрицы:

$$\begin{bmatrix} k_p \\ k_i \\ k_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_1 & A_0 & 0 \\ -A_3 & -A_2 & -A_1 \\ -A_5 & A_4 & -A_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -0{,}5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Данный метод требует проведения расчётов, и в источнике [4] приведены результаты, найденные данным способом: k_i=6,757; k_d=9,749; k_p=16,662. Далее необходимо рассмотреть остальные варианты и выбрать самый подходящий.

Метод Циглера-Никольса является экспериментальным, и для его реализации необходимо установить дифференциальный и интегральный коэффициенты на 0, т.е. задействовать регулятор только в режиме П-регулирования, увеличивая пропорциональную составляющую до тех пор, пока в системе не возникнут колебания, имеющие вид, представленный на рисунке 2. Затем необходимо измерить период колебаний и задать параметры регулятора в соответствии с формулами, представленными в таблице 1.

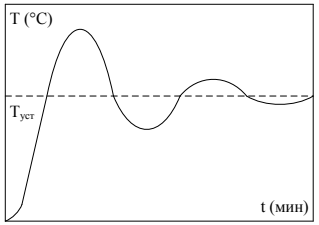


Рисунок 2 – Колебания при настройке ПИД-регулятора методом Циглера-Никольса

Параметры, приведенные в таблице 1 в разных источниках, имеют различные значения [4, 9]. Поэтому для удобства приведены значения, взятые из двух источников.

Таблица 1 – Параметры ПИД-регулятора

Источник	k_p	k_i	k_d
[4]	0,60 k_p	1,2 k_p/T	0,75 k_p/T
[9]	0,60 k_p	2 k_p/T	$k_p T/8$

В результате настройки системы, исходя из значений таблицы 1 были получены коэффициенты, приведенные в таблице 2.

Также одним из методов подбора коэффициентов ПИД-регулятора является метод Стогестада, который заключается в идентификации параметров модели объекта управления, и дальнейшего определения необходимых параметров настройки ПИД-регулятора [4]. Для апериодического звена второго порядка с транспортным запаздыванием параметры могут быть найдены по формуле:

$$k_p = \frac{T_1}{k(T_c + \tau)}, \qquad T_i = min[T_1; c(T_c + \tau)], \qquad T_d = T_2 \qquad (3)$$

где T_1, T_2, k, τ – параметры объекта; c – параметр обеспечивающий апериодический вид переходного процесса на выходе системы управления. В источнике [4] согласно данному методу были получены следующие параметры: $k_i=12,9$; $k_d=9,6$; $k_p=10,3$.

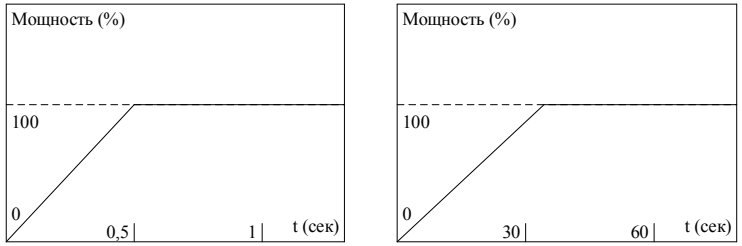
Результаты и их обсуждение

В ходе проведения эксперимента в ПИД- регулятор устанавливались значения коэффициентов, полученные различными способами и для удобства сведённые в таблицу 2.

Таблица 2 – Найденные параметры ПИД-регулятора

Метод	k_p	k_i	k_d
Амплитудный оптимум	16,662	6,757	9,749
Циглера-Никольса 1	0,06	0,192	0,12
Циглера-Никольса 2	0,06	0,32	0,78
Стогестада	10,3	12,9	9,6

Внешняя температура поддерживалась на уровне 2-х градусов Цельсия, уставка необходимой температуры находилась на уровне 30 градусов. При установке коэффициентов, полученных методом амплитудного оптимума, наблюдалась картина, представленная на рисунке 3 а. Мощность, повысилась с 0 до 100 % за 0,5 сек. и стало совершенно очевидно, что данный результат не подходит, ведь необходимо плавное повышение мощности за довольно длительный период. Для спасения метода амплитудного оптимума было принято решение уменьшить коэффициенты в 10 раз и повторить эксперимент, т.к. исходя из полученного графика коэффициенты слишком велики. После уменьшения коэффициентов наблюдалась картина, представленная на рисунке 3 б, данный результат вполне приемлем, но тем не менее повышение мощности происходит слишком быстро. Для увеличения времени процесса был увеличен интегральный коэффициент до значения равного 2, и повышение мощности происходило плавно в течении 1 минуты. Данный результат вполне приемлем, т.к. дальнейшим увеличением интегральной составляющей можно увеличивать длительность процесса до необходимого уровня.

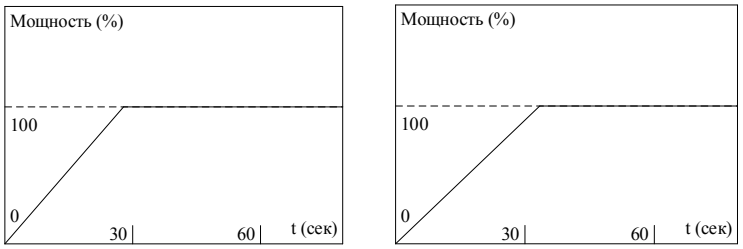


(а) (б)

Рисунок 3 – Графики повышения мощности на выходе ПИД-регулятора при установке коэффициентов, полученных методом амплитудного оптимума

Следующим этапом стала установка коэффициентов, полученных методами Циглера-Никольса 1 и 2 соответственно. Полученный результат приведён на рисунке 4. И первый и второй методы Циглера-Никольса показали отличный результат, выходная мощность ПИД-регулятора плавно

повышалась для первого метода в течении 28 секунд, для второго в течении 36 секунд. При увеличении интегрального коэффициента до 2 и в первом и во втором случае удалось добиться результата увеличения мощность от 0 до 100 % в течении 2 минут 15 секунд, что приемлемо.



(а) (б)

Рисунок 4 – Графики повышения мощности на выходе ПИД-регулятора при установке коэффициентов, полученных методом Циглера-Никольса 1 (а) и 2 (б)

Завершающим этапом эксперимента стала установка коэффициентов, полученных методом Стогестада, и исходя из результатов амплитудного оптимума коэффициенты заранее были уменьшены в 10 раз. Результат эксперимента приведен на рисунке 5. При использовании коэффициентов, полученных методом Стогестада, мощность плавно поднималась от 0 до 100 % в течении 22 секунд, для увеличения длительности процесса, интегральный коэффициент был увеличен до 2 и в результате данного увеличения был получен результат в 1 минуту и 25 секунд, что также, как и в предыдущих экспериментах является приемлемым.

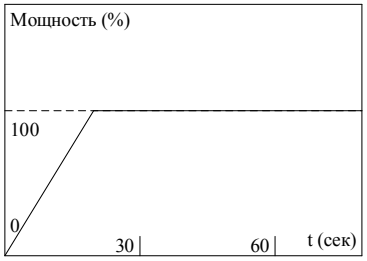


Рисунок 5 – График повышения мощности на выходе ПИД-регулятора при установке коэффициентов, полученных методом Стогестада

Для удобства результаты экспериментов были занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментов

Метод	t (сек) с исходными параметрами	t (сек) с $k_i=2$
Амплитудный оптимум (/10)	36	60
Циглера-Никольса 1	28	135
Циглера-Никольса 2	36	135
Стогестада (/10)	22	85

Выводы

Все 4 исследуемых в статье метода показали свою состоятельность и неплохие результаты. Во всех четырёх случаях повышение коэффициента интегрирования вело к увеличению длительности процесса повышения мощности, и как следствие увеличению надежности системы. Тем не менее если обращаться к общим правилам, приведённым в [10, 11, 12, 13] и полученных путём проведения большого количества теоретического анализа и численных экспериментов лучшим методом, является метод Циглера-Никольса 2, так как он имеет самое низкое значение пропорционального коэффициента и самое высокое значение дифференциального коэффициента, и, следовательно, надежность всей системы будет значительно выше чем у других методов [14]. Также стоит отметить ограничения интерпретирования результатов работы, связанные с определенными условиями, поставленными в ходе её выполнения.

Список использованных источников

1 **Кашкаров, А. П.** // Установка, ремонт и обслуживание кондиционеров [Текст] – Москва : ДМК ПРЕСС, 2019. – 120 с.

2 **Корх, Л.** // Всё о кондиционерах [Текст] – Москва : 2016. – 72 с.

3 **Косяков И. О.** Разработка программы управления нагревом воздуха для автоматизированной системы кондиционирования мобильного комплекса // Вестник Satbayev University – 2021 – № 7.

4 **Сидорова, А. А.** Определение наиболее эффективного метода настройки ПИД-регулятора // Институт кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета. Информационные технологии в системах автоматизации – 2012 – № 5. – С. 143 – 150.

5 **Рогов, В. А., Чудаков, А. Д.** Средства автоматизации и управления [Текст] // Учебник. – Москва: 2016. – 404 с.

6 **Смирнов, Ю. А.** Технические средства автоматизации и управления [Текст] // Учебное пособие. – Санкт-Петербург: 2017. – 456 с.

7 **Схиртладзе, А. Г., Федотов, А. В., Хомченко, В. Г.** Автоматизация технологических процессов и производств [Текст] // Учебник. – Москва : 2012. – 565 с.

8 **Ерофеев, А. А.** Теория автоматического управления [Текст] // Учебник для вузов. – Москва : 2008. – 302 с.

9 **Безхмельнов, В. Д., Солнцев, В. И., Сухов, Ж. С.** Использование методов настройки и автоподстройки систем автоматического управления температурой на основе программируемого логического контроллера фирмы B&R // Инженерный вестник – 2017 – № 5 – С. 16 – 25.

10 **Astrom, K. J., Hagglund, T.** Advanced PID control. [Текст] // ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. – 460 p.

11 **Astrom, K. J., Lee, T. H., Tan, K. K., Johansson, K. H.** Recent advances in relay feedback methods - A survey [Текст] // IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 'Intelligent Systems for the 21st Century' – 1995 – vol. 3 – P. 2616 – 2621.

12 **Astrom, K. J., Hang, C. C., Lim, B. C.** A new Smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead-time [Текст] // IEEE Transactions on Automatic Control – 1994 – vol. 39, Issue 2, – P. 343 – 345.

13 **Тетеревков, И. В.** // Надежность систем автоматизации [Текст] – Москва : 2019. – 357 с.

14 **Fazlollahtabar, H.** Reliability Models of Complex Systems for Robots and Automation. [Текст] // CRC Press: 2018. – 107 с.

References

1 **Kashkarov, A. P.** // Ustanovka, remont i obsluzhivanie kondicionerov. [Kashkarov A. P. Installation, repair and maintenance of air conditioners] [Text] – Moscow, DMK PRESS, 2019. – 120 p.

2 **Korh, L.** // Vsjo o kondicionerah [Korkh L. All about air conditioners] [Text] – Moscow : 2016. – 72 p.

3 **Kossyakov, I. O.** Razrabotka programmy upravleniya nagrevom vozduha dlya avtomatizirovannoj sistemy kondicionirovaniya mobil'nogo kompleksa [Kossyakov I. O. Development of heating control program for mobile complex automated air conditioning system] // Vestnik Satbayev University – 2021 – № 7.

4 **Sidorova, A. A.** Opredelenie naibolee effektivnogo metoda nastrojki PID-regulyatora [Sidorova A. A. Determining the most effective method for setting up the PID controller] [Text] // Institut kibernetiki Nacional'nogo issledovatel'skogo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Informacionnye tekhnologii v sistemah avtomatizacii – 2012 – № 5. – P. 143 – 150.

5 **Rogov, V. A., Chudakov, A. D.** Sredstva avtomatizacii i upravlenija [Rogov V. A., Chudakov A. D. Automation and control facilities] [Text] // Textbook. – Moscow, 2016. – 404 p.

6 **Smirnov, Ju. A.** Tehnicheskie sredstva avtomatizacii i upravlenija [Smirnov Yu.A. Technical means of automation and control] [Text] // Tutorial. – St. Petersburg, 2017. – 456 p.

7 **Skhirtladze, A. G., Fedotov, A. V., Homchenko, V. G.** // Avtomatizaciya tekhnologicheskih processov i proizvodstv. Uchebnik. [Skhirtladze A. G., Fedotov A.V., Khomchenko V. G. Automation of technological processes and production] [Text] – Moscow, 2012. – 565 p.

8 **Erofeev, A. A.** Teorija avtomaticheskogo upravlenija [Erofeev A. A. Automatic control theory] [Text] // Textbook for universities. – Moscow, 2008. – 302 p.

9 **Bezkhmel'nov, V. D., Solncev, V. I., Suhov, ZH. S.** Ispol'zovanie metodov nastrojki i avtopodstrojki sistem avtomaticheskogo upravleniya temperaturoj na osnove programmiruemogo logicheskogo kontrollera firmy B&R [Bezkhmelnov V. D., Solntsev V. I., Sukhov Zh. S. The use of methods of tuning and auto-tuning of automatic temperature control systems based on a programmable logic controller of B&R] [Text] // Inzhenernyj vestnik – 2017 – № 5 – S. 16 – 25.

10 **Astrom, K. J., Hagglund, T.** Advanced PID control. [Текст] // ISA The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. – 460 p.

11 **Astrom, K. J., Lee, T. H., Tan, K. K., Johansson, K. H.** Recent advances in relay feedback methods – A survey [Текст] // IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 'Intelligent Systems for the 21st Century' – 1995 – Vol. 3 – P. 2616 – 2621.

12 **Astrom, K. J., Hang, C. C., Lim, B. C.** A new Smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead-time [Текст] // IEEE Transactions on Automatic Control – 1994 – Vol. 39, Issue 2, – P. 343 – 345.

13 **Teterevkov, I. V.** // Nadezhnost' sistem avtomatizacii [Teterevkov I. V. Reliability of automation systems] [Text] – Moscow, 2019. – 357 p.

14 **Fazlollahtabar, H.** Reliability Models of Complex Systems for Robots and Automation. [Текст] // CRC Press, 2018. – 107 p.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

И. О. Косяков, *М.Ю. Полушин*

Мобильді комплекстердің абаны кондиционарлау жүйелерінде қолдануға ПИД- контроллерінің коэффициенттерін таңдау және сынау

ҰҚК Академиясы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

I. O. Kossyakov, M. Yu. Polushin

Selection and testing of PID regulator coefficients for use in air conditioning systems of mobile complexes

NSC Academy,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

Мақалада жылжымалы кешендердің ауа баптау жүйелеріндегі PID контроллерінің коэффициенттерін таңдау және сынау мәселесі талқыланады. Пропорционалды, интегралды және дифференциалды коэффициенттерді таңдау маңызды міндеттердің бірі болып табылады, өйткені ол кондиционердің оңтайлы жұмыс режимін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Осы мақсатқа жету үшін эксперимент әдісі қолданылады. Практикалық зерттеу OWEN бағдарламаланатын контроллері мен OwenLogic қосымшасын қолдану арқылы жүзеге асырылуда. Зерттеу жүргізу үшін стендтің құрылымдық схемасы әзірленуде. Амплитудалық оптимал, Стогестад, Зиглер-Николс әдістері қарастырылған, осы әдістермен ПИД-контроллерінің коэффициенттерін табу әдістері, сондай-ақ олардың теориялық немесе практикалық әдістермен алынған мәндері келтірілген. ПИД-контроллерінде коэффициенттерді орнату нәтижелері ұсынылады, алынған нәтижелер салыстырылады және сол немесе басқа әдісті қолданған кезде бүкіл жүйенің тиімділігі мен сенімділігі туралы қорытынды жасалады. Мақалада суреттелген түрде PID контроллері қуатының Шығыс мәні келтірілген, сонымен қатар осы нәтижені алу процесі сипатталған. Жұмыс барысында барлық әдістер тегіс реттеуді қамтамасыз етеді, бірақ Циглер-Никольс әдісі мобильді кешендерді кондиционерлеу жүйелерінде қолдану үшін ең қолайлы болып табылады. Бұл қорытынды PID реттегішінің белгілі бір коэффициентінің мәнін талдау негізінде жасалады.

Кілтті сөздер: PID контроллері, PID контроллерінің коэффициенттері, кондиционерлеуді автоматтандыру, автоматиканың сенімділігі, OwenLogic.

The article discusses the issue of selection and testing of PID controller coefficients in air conditioning systems of mobile complexes. The selection of proportional, integral and differential coefficients is one of the most important tasks, as it allows you to ensure the optimal operation of the air conditioner. To achieve this goal, the method of conducting the experiment is used. A practical study is being carried out using a programmable controller of the «OWEN» company and the «OwenLogic» application. A block diagram of the stand for conducting the research is being developed. The methods of amplitude optimum, Stogestad, Ziegler-Nichols are considered, methods of finding the coefficients of the PID controller by these methods are given, as well as their resulting values obtained either by theoretical or practical methods. The results of setting the coefficients in the PID controller are presented, the results obtained are compared, and a summary is made on the efficiency and reliability of the entire system when using one method or another. In the article, in an illustrated form, the output power value of the PID controller is given, and the process of obtaining this result is described. In the course of the work, it turns out that all methods provide smooth regulation, but for use in air conditioning systems of mobile complexes, the Ziegler-Nichols method is the most suitable. This conclusion is made on the basis of the analysis of the value of a particular coefficient of the PID controller.

Keywords: PID controller, PID controller coefficients, air conditioning automation, automation reliability, OwenLogic.

МРНТИ 20.53.17

https://doi.org/10.48081/UOVU7003

***А. Д. Кубегенова, К. Т. Искаков**
Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

DATA MINING ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН, МЕДИЦИНАДА ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТАЛДАУ ЖАСАУ ЖӘНЕ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ АСПЕКТІЛЕРІ

Мақалада деректерді зерттеу, деректерді терең талдау, білім алу, білім базасындағы мәліметтерді өңдеу жолдары, медицина саласында Data Mining технологиясының интелектуалды талдау әдістері мен қолдану аспектілері қарастырылған. АИТВ инфекциясын жұқтырған науқастардың, тобын анықталып аурулар тарихымен талдау жасалды, Модельдер әзірленіп және іс-қимыл алгоритмі құрылып (кіріс деректері), деректерді іздеу әдістері арқылы талдау жасап эксперименттер жүргізілді. Барлық аурулар сандық векторлар жиынтығы ретінде ұсынылып, кластерлерге топтастырылған деректердің бейімділігі сипатталған әдіснамаға сәйкес осы болу арқылы Хопкинс статистикасының мәні есептелді. Кластерлеудің өзі sklearn кітапханасының әдеттегі құралдарын қолдану арқылы жүзеге асырылды. Екі өлшемді жазықтықта көп өлшемді деректерді ұсынудың әртүрлі әдістері ұсынылды негізгі компоненттер әдісі, Кохонен желісі және т. б.

Кластерлеудің екі түрлі тәсілі қарастырылды: k – орта әдісі (Python тілінің sklearn кітапханасынан Kmeans функциясын қолдана отырып), АВТО-конфигурациясы бар тығыздыққа негізделген кластерлеу әдістері қолданылды (Python тілінің hdbscan кітапханасынан HDBSCAN функциясынан). Салыстырған жағдайда бір алгоритмнің әртүрлі параметрлерін өзгерту арқылы кластерлердің құрылымын бағалайды (мысалы, k топтарының саны); Алынған және дайындалған объектілерде модель құрылып (немесе бірнеше) және оның параметрлері реттелді. Содан кейін тестілеу және нәтижелерді талдау жүргізілді.

Кілтті сөздер: кластеризация,векторизация, корреляция, sklearn, манипуляция.

Кіріспе

Қазіргі заманғы мәліметтерді сақтау мен өңдеу әдістерінің дамуы, жинақталған, талдауды керек ететін ақпараттардың тез өсуіне алып келуде. Жинақталған мәліметтердің соншалықты көптігі оны адам күшімен өңдеуге мүмкіндік бермейді, әрі бұл өңделмеген мәліметтердің ішінде, маңызды шешімдер қабылдауға керекті ақпараттар бар екені анық. Сол себептен, мәліметтерді автоматты талдау жасау үшін Data Mining технологиясын қолдану керек болады.

Data Mining қолданбалы статистика, білімді тану, жасанды интеллект, мәліметтер базасының теориясы және т. б. сияқты ғылымдар негізінде пайда болған және дамитын көп салалы аймақ деп білеміз.

DataMining – бұл жасырын заңдылықтарды (ақпарат шаблондарын) деректерден іздеуге негізделген шешім қабылдауды қолдау процесі.

Data Mining – ті анық емес, объективті және тәжірибеде пайдалы заңдылықтардың үлкен көлемін іздеуге арналған технология ретінде сипаттауға болады:

– анық емес, өйткені табылған заңдылықтар ақпаратты өңдеудің стандартты әдістерімен немесе сараптамалық жолмен анықталмайды;

– объективті, өйткені анықталған заңдылықтар әрдайым субъективті болып табылатын сараптамалық білімнен айырмашылығы шындыққа толығымен сәйкес келеді;

– іс жүзінде пайдалы, өйткені қорытындылар практикалық қолдануға болатын нақты мағынаға ие.

Материалдар мен әдістер

Медициналық мәліметтер мұрағатында нақты аурулардың әртүрлі жағдайлары, оларды диагностикалау әдістері туралы көптеген ақпарат бар. Үлгілерді іздеу көптеген медициналық зерттеулердің міндеттерінің бірі болып табылады. Мұндай мәселелерді шешу үшін деректерді автоматты түрде талдау әдістері жиі қолданылады.

Data Mining тұжырымдамасы медицинаны қоса алғанда, әртүрлі қызмет салаларында шешім қабылдау үшін қажет деректердегі іс жүзінде пайдалы білімді анықтауға әдістерін жиынтығын белгілеу үшін пайдаланылады. Деректерді іздеу -бұл статистика, машиналық оқыту, жасанды интеллект сияқты ғылымдардың буынында пайда болған және дамитын кең сала.

Қысқаша сипаттамасын қарастырсақ. Статистика - бұл ақпарат жинайтын және оларды әрі қарай талдау және өңдеу үшін нысандарды мұқият зерттейтін ғылым. Машиналық оқытуды оқуға қабілетті алгоритмдерді құру әдістерін зерттейтін процесс ретінде сипаттауға болады. Жасанды интеллект – бұл ғылыми сала, әдістерді өндейді, интелектуалды мәселелерді электрондық компьютерде шешуге мүмкіндік береді, егерде осы мәселелерді адамдар шешіп жүрсе.

Data Mining жасанды нейрондық желілер, шешім ағаштары, корреляция, кластерлік талдау, сызықтық регрессия, байес желілері және басқалары сияқты әдістер мен алгоритмдерді біріктіреді. Жіктеу, кластерлеу, болжау сияқты міндеттер шешіледі.

Статистикалық әдістер көбінесе сызықтық регрессия теңдеулерін шешуге азаяды. Алайда, мұндай тәсілмен байланыс табу әрдайым мүмкін емес. Мұндай жағдайларда Машиналық оқыту әдістері қолданылады. Медицинада диагноз қоюға арналған көптеген сараптамалық жүйелер бар, олар әртүрлі аурулардың белгілерінің үйлесімін сипаттайтын заңдылықтар мен ережелерге негізделген.

Бұл ережелер науқастың қалай ауырғанын, қандай ем тағайындау керектігін анықтауға, тағайындалған емнің нәтижесін болжауға, әртүрлі патологиялардың себептерін зерттеуге көмектеседі. Деректерді іздеу технологиялары ережелер мен схемалар сияқты медициналық деректерді табуға мүмкіндік береді. Диагностика әдістерін әзірлеу медицинаның өзекті міндеті болып табылады, бұл өз кезегінде жіктеу міндеттеріне жатады.

Бұл талдаудың маңыздылығы – дұрыс диагнозды уақтылы қою және олардың клиникалық формаларының біріне сәйкес келетін қажетті емдеуді жүргізу.Уақытылы ем алмау денсаулықтың нашарлауына әкеледі және аурудың асқынуы мүмкін.

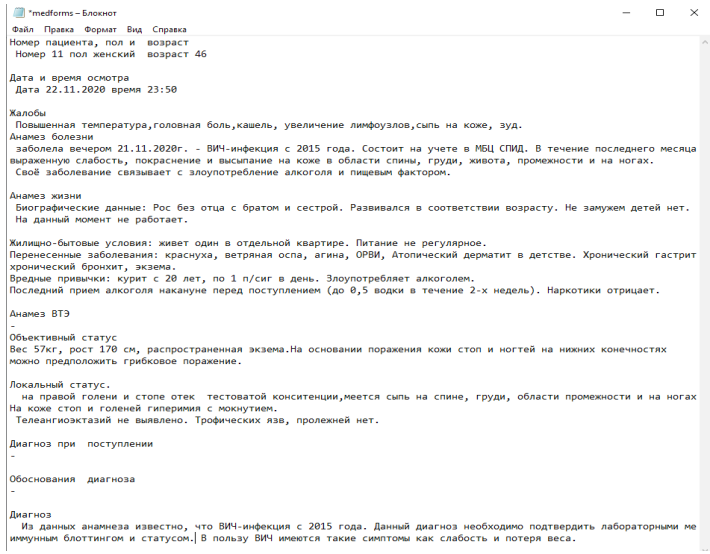
Талдау нысаны – АИТВ инфекциясын жұқтырған әртүрлі клиникалық түрлерімен ауырған науқастардың мәліметтерін жинақтау, болжамды модельді құру және деректерді іздеу әдістері арқылы талдау жасап эксперименттер жүргізу.

Талдаудың мақсаты – деректерді талдауға арналған мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз етудің көмегімен АИТВ-инфекциясы бар пациенттер тобын анықтау болып табылады.

Алынған нәтижелерді шешім қабылдау үшін, диагноз қою кезінде мамандар қолдана алады.Модельдерді әзірлеу барысында іс-қимыл алгоритмі құрылды және кіріс деректері енгізіледі.

Ең алдымен бастапқы деректер ретінде ем алып жатқан АИТВ инфекциясын жұқтырған, науқастардың мәліметтер тарихынан талдау жасалынды.

Әр науқас үшін міндетті талдау жасау № 1 суретте құжаттардың бірінен үзінді көрсетілген


*medforms – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Номер пациента, пол и возраст
Номер 11 пол женский возраст 46

Дата и время осмотра
Дата 22.11.2020 время 23:50

Жалобы
Повышенная температура,головная боль,кашель, увеличение лимфоузлов,сыпь на коже, зуд.
Анамез болезни
заболела вечером 21.11.2020г. - ВИЧ-инфекция с 2015 года. Состоит на учете в МБЦ СПИД. В течение последнего месяца выраженную слабость, покраснение и высыпание на коже в области спины, груди, живота, промежности и на ногах.
Своё заболевание связывает с злоупотребление алкоголя и пищевым фактором.

Анамез жизни
Биографические данные: Рос без отца с братом и сестрой. Развивался в соответствии возрасту. Не замужем детей нет.
На данный момент не работает.

Жилищно-бытовые условия: живет один в отдельной квартире. Питание не регулярное.
Перенесенные заболевания: краснуха, ветряная оспа, ангина, ОРВИ, Атопический дерматит в детстве. Хронический гастрит хронический бронхит, экзема.
Вредные привычки: курит с 20 лет, по 1 п/сиг в день. Злоупотребляет алкоголем.
Последний прием алкоголя накануне перед поступлением (до 0,5 водки в течение 2-х недель). Наркотики отрицает.

Анамез ВТЭ
-
Объективный статус
Вес 57кг, рост 170 см, распространенная экзема.На основании поражения кожи стоп и ногтей на нижних конечностях можно предположить грибковое поражение.

Локальный статус.
на правой голени и стопе отек тестоватой конситенции,меется сыпь на спине, груди, области промежности и на ногах
На коже стоп и голеней гиперимия с мокнутием.
Телеангиоэктазий не выявлено. Трофических язв, пролежней нет.

Диагноз при поступлении
-

Обоснования диагноза
-

Диагноз
Из данных анамнеза известно, что ВИЧ-инфекция с 2015 года. Данный диагноз необходимо подтвердить лабораторными ме иммунным блоттингом и статусом.| В пользу ВИЧ имеются такие симптомы как слабость и потеря веса.

Сурет 1 – Кіріс деректері

Көріп отырғанымыздай, құжатта құрылымданбаған жазбалар бар (айқын белгілерді қоспағанда, оларды жай шаблондарға бөліп, талдауға болады). Науқастың өз еркімен берген мәліметтері деректер қорына енгізіледі. Сонымен қатар, кейбір бөлімдер науқастың мәліметтер қорында болмауы мүмкін. Мысалы, барлық құжаттарда науқастың диагнозы мен шағымдары туралы толық мәлімет берілмеген. Егер тест нәтижелерінің блоктары параметрлерді алуға болатын бірнеше түрлі шаблондар түрінде ұсынылса, онда шағымдар мен медициналық ауру тарихы сияқты бөлімдер толығымен еркін түрде толтырылады. Сонымен қатар, кластерлік модель құруға кіріспес бұрын, бұл мәселенің ықтималды шешілуін зерттеу керек.

Векторизация

Мәтіндерді осындай манипуляциялармен орындауға болатын форматта ұсыну Python тілінің sklearn кітапханасынан TfidfVectorizer функциясын қолдану арқылы жүзеге асырылды.Бұл әдістің негізіндегі TF-IDF статистикалық өлшемі сөздің маңыздылығын бағалау үшін қолданылады. Барлық аурулар сандық векторлар жиынтығы ретінде ұсынылады, олармен әрі қарай манипуляциялар жасалуы мүмкін [4].

Кластерлеуді бастамас бұрын, бірінші кластерлерге топтастырылған деректердің бейімділігін анықтау қажет. Ол үшін Хопкинс статистикасы таңдалады.Ол іс жүзінде деректер топтастыруға бейім емес деген нөлдік гипотезаға негізделген. Оның мәнін есептеу үшін бастапқы деректер

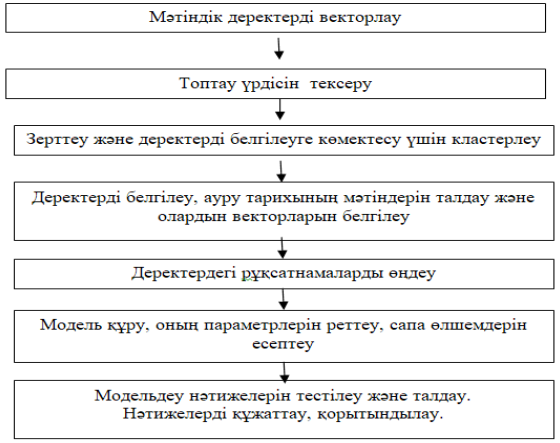
жиынымен бірдей стандартты ауытқумен бөлу негізінде кездейсоқ пайда болатын, бірнеше жалған деректер жиынтығы жасалады. Әрбір *i* бақылау үшін *n*-нен *k*-ге дейінгі орташа қашықтық есептеледі: жасанды нысандар мен олардың ең жақын нақты көршілері арасындағы нақты объектілер мен q_i арасындағы ω_i.(1)

$$H_{ind} = \frac{\Sigma_n \omega_i}{\Sigma_n q_i + \Sigma_n \omega_i} \quad (1)$$

Содан кейін Хопкинс статистикасы 0,5-тен асатын *q* ұқсас, ал топтастырылған нысандар кездейсоқ және біркелкі болып бөлінеді де нөлдік гипотезаға сәйкес келеді. Мәні H .25 ind <0 90 % сенімділік деңгейінде деректерді топтастыру тенденциясын көрсетеді. Егер бұл статистика нөлдік гипотезаның дұрыс еместігін көрсетсе және біздің кірістеріміз кластерленуге бейім болса, онда кластерлеуге көшеміз [1].

Кластерлеу алгоритмдері

Кластерлеудің екі түрлі тәсілі қарастырылды: *k* – орта әдісі (Python тілінің sklearn кітапханасынан Kmeans функциясын қолдана отырып), АВТО-конфигурациясы бар тығыздыққа негізделген кластерлеу әдістері қашықтық (Python тілінің hdbscan кітапханасынан HDBSCAN функциясын қолдану). Алынған және дайындалған объектілерде модель құру (немесе бірнеше) және оның параметрлерін реттеу қажет. Содан кейін тестілеу және нәтижелерді талдау жүргізіледі. № 2 суретте талдау жасау жұмыс реті көрсетілген.



Сурет 2 – Талдау жұмыс реті

Тапсырма бойынша жұмыстың әртүрлі кезеңдерінде визуализация қажет болып matplotlib Python кітапханасындағы pyplot модуліне негізделген әртүрлі функциялар қолданылды [2].

Атап айтатын болсақ:

1 NumPy – Python-да ғылыми есептеулер жүргізу үшін қажет іргелі кітапхана.

2 Matplotlib – екі өлшемді графиктермен жұмыс істеуге арналған кітапхана

3 Pandas – құрылымдық деректер мен уақыт қатарларын талдау құралы.

4 Scikit – learn - классикалық Машиналық оқыту алгоритмдерінің интеграторы.

5 SciPy – математика, ғылым және инженерия саласында қолданылатын кітапхана

6 Jupyter – интерактивті есептеу ортасы.

Ең алдымен, деректерді талдап белгілеу үшін кластерлеуіміз қажет. Деректер қарапайым болу үшін барлық қажет емес тыныс белгілері жойылып, Python тұрақты өрнек кітапханасы осы тапсырманы орындау үшін пайдаланылады. Тазартылған құжатты бос символдарға және жеке сөздерге бөлу құжаттарды лексемаларға бөлу әдісі болып келеді.

Мысалға:

```
def correct_known_words(story):
        dict_ = {‘сопут диагноз’: ‘сопутствующий диагноз’,
        ‘табл ‘:’таблеток ‘,
                ‘ ст. вторичных’: ‘ стадии вторичных’,
                ‘голов. боль’: ‘головная боль’
```

Алдыңғы қадамда жасалған манипуляциялардан кейін толық мәтінді түрлендірілген және тазартылған деректер шеңберін жүктеп, барлық оқиғаларды өңдеу жеткілікті болып келеді, деректер жақтауының ұяшықтарының мәндері сияқты, индекстер тарихы файлдарының атаулары болып табылады. Sklearn кітапханасынан NearestNeighbors функциясы, әдетте бақыланбайтын және басқарылатын модельдерді құру үшін қолданылады, бұл жағдайда біздің векторланған мәтінімізге ұқсас жалған объект жасауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер мен талқылау

Жоғарыда сипатталған әдіснамаға сәйкес осы бөлу арқылы біз Хопкинс статистикасының мәнін есептей аламыз. Кластерлеудің өзі sklearn кітапханасының әдеттегі құралдарын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Екі өлшемді жазықтықта көп өлшемді деректерді ұсынудың әртүрлі әдістері бар: негізгі компоненттер әдісі, Кохонен желісі және т. б.

PCA tSNE бұл әдістер әртүрлі принциптерге негізделгендіктен, егер біреуі кластерлер арасындағы визуалды айырмашылықтарды көрсетпесе,

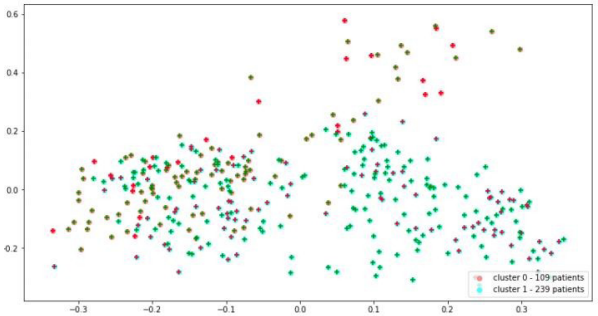
екіншісі жақсы жұмыс істеуі мүмкін. Екі әдіс де sklearn кітапханасында қолданылады. Sklearn-ді іске асыруда PCA және tSNE сіз жұмыс істеген кезде көрсеткен осьтер санына сәйкес келетін векторлар жиынтығын қайтарады.

Біздің жағдайда жазықтықпен жұмыс, бұл екі вектор болады олардың әрқайсысының ұзындығы бар, оқиға бар деректер шеңберіндегі жолдардың санына тең.Бұл векторларды нақты класс белгілерін және кластерлік нөмерлерін анықтап визуализация функциясына тапсыру керек.

Нәтижесінде график жасалынды, онда әр түрлі кластерлердегі нүктелер әртүрлі түстерге ие болады, ал егер оларға қажетті параметрлерді орнатсақ, әр түрлі түстердің крестері олардың үстінде болады.

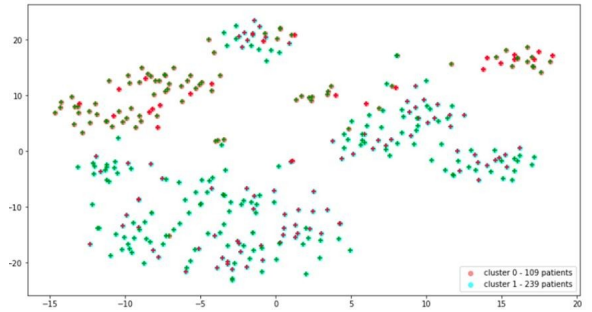
Кластерлік шешімді жасағаннан кейін оның қаншалықты тұрақты және статистикалық маңызды екендігі туралы сұрақ туындайды. Тұрақты топтау кластерлеу әдістері өзгерген кезде сақталуы тиіс: мысалы, егер иерархиялық кластерлік талдау нәтижелерінде *k*-орташа әдісін пайдалана отырып топтау кезінде 70 %-дан астам сәйкестіктер үлесі болса, онда орнықтылыққа жол беру қабылданады [4].

Салыстырмалы тексеру бір алгоритмнің әртүрлі параметрлерін өзгерту арқылы кластерлердің құрылымын бағалайды (мысалы, *k* топтарының саны); Бұл sklearn кітапханасының әдеттегі құралдарымен жасалады.

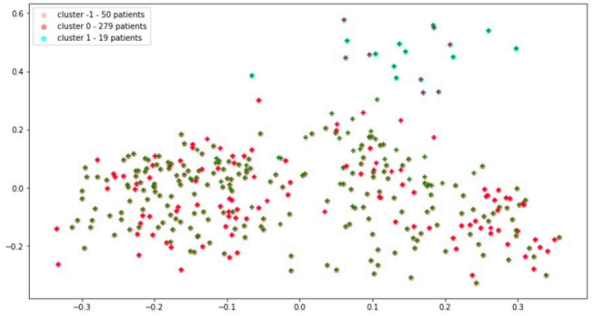


Сурет 3 – Кластерлеу мысалы

Хопкинс статистикасының құрылымданбаған мәтіндік деректердің бастапқы жиынтығы бойынша есептеулері кез-келген экспериментте H мәні 0,150-ден аспағанын көрсетті, бұл деректерде кластерлік құрылымның болуы туралы болжамдарымыздың дұрыстығын көрсетеді. Негізгі компоненттер әдісімен визуализациялау кезінде кластерлер арасында бөлу сызығын визуалды түрде салу мүмкін болмаса да, визуалды бөлінудің белгілі бір тенденциясы барын көреміз [5–6].



A)



B)

Сурет 4 – Кластерлік эксперимент

Нақты заңдылықтар анықталған жоқ: A) және B) кластерлер көптеген нүктелерде мүлдем басқа науқастарға да ұқсас, бірақ сонымен бірге бір және әртүрлі кластерлерде орналасқан. № 4 суретте көрсетілген. Деректерден ақпарат алу үшін визуализация мен бөлінуді іздеудің кластерлік экспериментті B) әрекеті tSNE әдісін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Бұл визуализация әдісі кластер құрылымының айқын ауырлығын көрсетеді, алайда оны көршілер әдісімен (метод соседей) анықтау мүмкін емес. Бұл экспериментте осы визуализацияға нақты бөлінген аймақтардың санына тең кластерлер санын анықтауға болады.Алайда визуалды кластерлермен сәйкестікке қол жеткізу мүмкін емес. Ол кезде кластерлеуге түбегейлі өзгеше тәсіл қолданылды – қашықтықты автоматты түрде реттейтін тығыздық негізінде. (атап айтқанда, hdbscan іске асыру).

Қорытынды

Интелектуалды талдау әдістері мен қолдану аспектілері ретінде Data Mining технологиясын медицина саласында қолдану тиімді болып келеді. АИТВ инфекциясын жұқтырған науқастардың топтарын

анықтаудағы міндеті, іске асырудың барлық негізгі сәттері жазылды, TF-IDF статистикалық өлшемін бағалау үшін Python тілінің sklearn кітапханасынан Tfidf Vectorizer функциясы қолданылып эксперементте қарастырылды. Хопкинс статистикасы тандалып, топтастырылған деректердің бейімділігі анықталып, науқастын ауру тарихы бойынша кластерлеу жүргізілді. Кластерлеудің екі түрі қарастырылды. Дайындалған объектілерден әдіснамаға сәйкес модельдер құрылып график жасалынды.

Нәтижесінде негізгі компоненттер әдісімен визуалды бөлінудің белгілі бір тенденциясы бары анықталды. Барлық тұжырымдар мен алынған өлшемдер жазылып, талданды.

Жұмыста пайдаланылған және сипатталған барлық шешімдер ауқымды және де эксперименттерде қолдануға мүмкіндік беретін немесе басқа аурулары бар, бірақ ұқсас болып келетін науқастар тобын іздеп жүзеге асыру үшін қолданылады.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Лисинин, А. В.,Файзулин, Р. Т**. Применение метаэвристических алгоритмов к решению задач кластеризации методом k-средних [Текст] // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, №. 3. – С. 406–412.

2 **Андреас Мюллер** Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными [Текст] // Мюллер Андреас. – М. : Альфа-книга, 2017.

3 **Нейский, И. М.** Классификация и сравнение методов Кластеризации. [Текст] // Интеллектуальные технологии и системы. Сборник учебно-методических работ и статей аспирантов и студентов. – М. : НОК «CLAIM», 2006. – Выпуск 8. – С. 130–142.

4 **Барсегян, А. А., Куприянов, М. С., Степаненко, В. В., Холод, И. И.** Методы и модели анализа данных [Текст] // OLAP и DataMining. СПб. : БХВ-Петрбург, 2008. – 336 с.

5 **Петрунин, Ю. Ю.** Информационные технологии анализа данных. [Текст] // Анализ данных. – М. : КДУ, 2010.

6 **Плас, Джейк Вандер** Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение. Руководство. // Плас Джейк Вандер. – М. : Питер, 2018.

7 **Charikar, M. E**. Incremental clustering and dynamic information retrieval. [Текст] // SIAM Journal on Computing. – 2004. – Vol. 33, №. 6. – P. 1417–1440.

8 **Мокина, Е. Е., Марухина, О. В., Шагарова, М. Д., Дубинина, И. А**. Использование методов Data Mining при принятии медицинских диагностических решений. [Текст] // фундаментальные исследования. – 2016. – № 5–2. – с. 269–274.

9 **Бююль, А., Цеффель, П.** SPSS: Искусство обработки информации. [Текст] – М., 2005 • Глава 20. Кластерный анализ

References

1 **Lisinin, A. V., Fayzulin, R. T.** Primeneniye metaevristicheskikh algoritmov k resheniyu zadach klasterizatsii metodom k-srednikh [Application of metaheuristic algorithms to solving clustering problems using the k-means method] [Text] – Komp'yuternaya optika. – 2015. – T. 39, №. 3. – P. 406–412.

2 **Andreas Myuller.** Vvedenie v mashinnoe obuchenie s pomoshh'yu Python. Rukovodstvo dlya specialistov po rabote s danny'mi. [An introduction to machine learning with Python. A guide for data scientists] [Text] – Moscow : Al'fa-kniga, 2017.

3 **Neyskiy, I. M.** Klassifikatsiya i sravneniye metodov Klasterizatsii. [Classification and comparison of methods Clustering.] [Text]. Intellektual'nyye tekhnologii i sistemy. Sbornik uchebno-metodicheskikh rabot i statey aspirantov i studentov – Moscow : NOK «CLAIM», 2006. – Vypusk 8. – P. 130–142.

4 **Barsegyan, A. A., Kupriyanov, M. S., Stepanenko, V. V., Kholod, I. I.** Metody i modeli analiza dannykh. [Data Analysis Methods and Models] [Text]. OLAP i Data Mining. SPb : BKHV-Peterburg, 2008. – 336 p.

5 **Petrunin, YU. YU.** Informatsionnyye tekhnologii analiza dannykh. [Information technology data analysis] [Text]. Analiz dannykh. – Moscow : KDU, 2010.

6 **Plas, Dzheyk Vander,** Python dlya slozhnykh zadach. Nauka o dannykh i mashinnoye obucheniye. Rukovodstvo. [Python for complex tasks. Data Science and Machine Learning. Leadership.] [Text] – Moscow : Peter, 2018.

7 **Charikar, M. E**. Incremental clustering and dynamic information retrieval. [Текст] // SIAM Journal on Computing. – 2004. – Vol. 33, №. 6. – P. 1417–1440.

8 **Mokina, E. E., Maruxina, O. V.,Shagarova, M. D.,Dubinina, I. A.** Ispol'zovaniye metodov Data Mining pri prinyatii meditsinskikh diagnosticheskikh resheniy. [Using Data Mining Methods in Making Medical Diagnostic Decisions] [Text]. Fundamental'nyye issledovaniya. – 2016. – № 5–2. – P. 269–274.

9 **Byuyul', A., Tsefel', P.** SPSS: Iskusstvo obrabotki informatsii. [The art of information processing.] [Text]. Klasternyy analiz – Moscow, 2005. Glava 20.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

А. Д. Кубегенова, К. Т. Искаков

Аспекты интеллектуального анализа и применения методов в медицине с помощью технологии data mining

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.
Материал поступил в редакцию 19.03.21.

A. D. Kubegenova, K. T. Iskakov

Aspects of intellectual analysis and application of methods in medicine using data mining technology

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
Material received on 19.03.21.

В статье рассматриваются аспекты исследования данных, глубокого анализа данных, получения знаний, способов обработки данных в базе знаний, методов интеллектуального анализа и применения технологии Data Mining в области медицины. Выявлена группа ВИЧ-инфицированных больных, проведен анализ с историей заболеваний, разработаны модели и разработан алгоритм действий (входные данные), проведен анализ и эксперименты с методами поиска данных. Все болезни были представлены в виде набора числовых векторов и были сгруппированы в кластеры, согласно описанной методологии, с помощью этого распределения было рассчитано значение статистики Хопкинса. Сама кластеризация осуществлялась с использованием обычных инструментов библиотеки sklearn. Предложены различные методы представления многомерных данных в двумерной плоскости метод основных компонентов, линия Кохонена и др.

Были рассмотрены два разных способа кластеризации: метод k-Medium (с использованием функции Kmeans из библиотеки sklearn языка Python), методы кластеризации на основе плотности с автоконфигурацией (из функции HDBSCAN из библиотеки Hdbscan языка Python). В случае сравнения оценивают структуру кластеров путем изменения различных параметров одного алгоритма (например, количество групп k); на полученных и подготовленных объектах строится модель (или несколько) и корректируются ее параметры. Затем было проведено тестирование и анализ результатов.

Ключевые слова: кластеризация, векторизация, корреляция, sklearn, манипуляция.

The article discusses aspects of data research, deep data analysis, knowledge acquisition, methods of data processing in the knowledge base, methods of data mining and application of Data Mining technology in the field of medicine. A group of HIV-infected patients was identified, an analysis with a history of diseases was carried out, models were developed and an algorithm of actions (input data) was developed, analysis and experiments with data search methods were carried out. All diseases were represented as a set of numerical vectors and were grouped into clusters, according to the described methodology, using this distribution, the value of Hopkins statistics was calculated. Clustering itself was performed using the usual tools of the sklearn library. Various methods for representing multidimensional data in a two-dimensional plane are proposed: the principal component method, the Kohonen line, etc.

Two different clustering methods were considered: the k-Medium method (using the Kmeans function from the Python sklearn library), and density-based clustering methods with autoconfiguration (from the HDBSCAN function from the Python Hdbscan library). In the case of comparison, the cluster structure is evaluated by changing various parameters of one algorithm (for example, the number of groups k); a model (or several) is built on the obtained and prepared objects and its parameters are adjusted. Then testing and analysis of the results were carried out.

Keywords: clustering, vectorization, correlation, sklearn, manipulation.

ҒТАМР 629.681.7

https://doi.org/10.48081/KLJD9103

***Ю. Г. Литвинов, Т. Б. Керибаева**
Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ ҰШУ ҚОЗҒАЛЫСЫНДАҒЫ БЕЛГІСІЗДІГІН АНЫҚТАУ

Бұл мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) әзірлеу қарқынды дамып келе жатқан бағыт болып табылатыны, соңғы уақытта ҰҰА деген ерекше қызығушылық пен олардың бірқатар ерекшеліктері мен қолдану салалары атап айтылады. ҰҰА-н әзірлеудегі негізгі бағыт ұшу дербестігін арттыру болып табылады, бұл өз кезегінде аппараттың сенімділігін арттырады, оператордың жоғары біліктілік деңгейін талап етпей, пайдаланудың қарапайымдылығын қамтамасыз етеді, сондай-ақ тапсырманы орындауға жұмсалатын жалпы шығындарды азайтады. Ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару жүйесін, ұшқышсыздардың ұшу барысындағы кедергілердің әсері мен қону жағдайында туындайтын қиындықтардың болуын көрсетеміз.

Кілтті сөздер: ұшқышсыз ұшу аппараты, ұшқышсыздарды басқару жүйесі, ұшқышсыз ұшу аппаратының қозғалысының моделі, теңдеулер жүйесі.

Кіріспе

Ғылым мен техника дамыған сайын адамзат тарихында жаңа белестерді бағындыру күн санап жаңғыру үстінде. Осы уақытқа дейінгі ғылымның жетістіктері ұшан теңіз, ал ұшқышсыздар соның бір дәлелі.

Барлығымызға қызықты әрі қызығарлық құрылғы ұшқышсыз ұшу аппараттарың, алуан түрлілігі яғни түрлеріне қысқаша тоқталсақ: дизайн бойынша әуе дрондарының әр түрлері бар. ҰҰА салмағы сияқты өзара байланыс параметрлері арқылы бөлінеді: ұшу уақыты, ауқымы және биіктігі.

ҰҰА атқаратын қызыметі, әскери қорғаныс бағдарламалары мен жер өлшеу, азаматтық мақсаттарда кеңінен қолданылатынын білеміз. Сондай-ақ ғылыми зерттеуде де өз үлесін қосуда, мысалы ұшқышсыздарды экологиялық зерттеулерде қолдану соңғы он жыл ішінде қол жетімді, ұшқышсыз технологиялардың қарқынды дамуына байланысты, олар жануарлар әлемін

зерттеуде, атап айтқанда аэрофототүсірілімдер үшін көп сұранысқа ие. Ғалымдар теңіз фаунасын зерттеуге яғни теңіз аэротүсірілімдерін орындайтын ұшақтармен салыстыра отырып ұшқышсыздардың тиімділіктерін анықтады [1]. Ал Кальвин Университетінің ғалымдары, ұшқышсыздардың құстар әлеміндегі әсерін зерттеп, ұшқышсыздардың ұшу кезіндегі, құстардың мінез-құлқына яғни физиологиялық стресстің көрсеткіші ретінде өлшеу арқылы, оң нәтежиелер алғанын, өз зерттеулерінде көрсеткен [2].

Материалдар мен әдістер

Ақпараттық белгісіздік жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратын бағдарламалық басқаруды синтездеу жүзеге асырылады. Дискретті өзгеретін координаттар жүйесінде сипатталған ҰҰА бағыттаудың математикалық моделі негізінде оңтайландыру мәселесін шешумен сипатталатын, кеңістіктің берілген нүктелері арқылы өтетін траектория бойынша бағыттау кезінде берілген сапа критерийі үшін ҰҰА-н басқару заңын аналитикалық синтездеу әдісі енгізілді, бұл ҰҰА-н қолданудың өзгеретін жағдайларында оңтайлы басқару заңын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Анық емес реттегіш негізінде ҰҰА автопилотының басқару сигналын қалыптастыру әдістемесі тұжырымдалған, оның ішінде ҰҰА оңтайлы траекториясын қалыптастыру алгоритмдері, кездейсоқ кіріс сигналдарын фазаландыру, басқару параметрлерін есептеу және ақпараттық белгісіздіктер жағдайында қажетті басқару сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін ҰҰА автопилотының басқару сигналдарын алу [3].

Кездейсоқ сыртқы күштердің әсерінен, өлшеу шуларына және басқа да бұзылуларға ұшырайтын конструкциялар класына жататын ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) басқарудың отандық жүйелерін әзірлеу ерекше маңызға ие. ҰҰА жасаушылардан, кең диапазонда белгісіз параметрлердің әсері кезіндегі өзгерістердің салдарынан, жоғарғы дәлдік жүйелерінің синтезі заманауи басқару жүйесінің класынан шешім іздеуді талап етеді.

Бүгінгі таңдағы басқару теориясының дамуы адаптивті, интервалды (интервально-заданных), анық емес және стохастикалық (нечетких и стохастических систем) жүйелер саласындағы жұмыстармен басталды.

ҰҰА басқару жүйесінің кедергілер жағдайында ұшқышсыз ұшу аппараттарының басқару тиімділігін арттыру құралдары сипатталған. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелердің кедергіден қорғауды арттыру үшін жалған спутниктер негізінде жергілікті радионавигациялық жүйелердің көмегімен резервтеу болып табылады. Ұшу аппараттарының орналасу дәлдігін арттыру мақсатында навигациялық сигналдарды кеңістіктік-уақыттық және кеңістіктік-жиіліктік өңдеудің біріктірілген әдісін қолдану мүмкіндігі анықталған [4].

ҰҰА-ң белгісіздік жағдайдайында қозғалысын синтездейдін болсақ. Зерттеу белгісіздігінің әртүлі деңгейлері үшін ұшқышсыз ұшу аппаратының

математикалық моделі басқарудың төменгі дәлдігімен қамтамасыз етіледі, модель үшін алынған тұрақты коэффициенттері бар пропорционалды реттегішпен салыстырамыз.

Нәтижелер және талқылау

Векторлық күйді бағалай отырып, ұшақтың сызықтық қозғалыс теңдеулерінің коэффициенттерін бір уақытта тік сызықты көлденең ұшу алгоритмін қарастырамыз. Бойлық үлгісін жазамыз желдің қозуын ескере отырып, жай-күй кеңістігіндегі қозғалыстар:

$$\dot{A} = NA + MW + \xi \qquad (1)$$

Мұнда $A = [\Delta V\ \Delta\theta\ \Delta\vartheta\ \Delta\omega_z\ \ \Delta H]^{\mathrm{T}}$ векторлық күй;

$\Delta V\ \Delta\theta\ \Delta\vartheta\ \Delta\omega_z,\ \Delta H$ – жылдамдықты тұрақтандыру қателері, бұрыштар траекториясы мен тангаждың еңісі, тангаждың бұрыштық жылдамдығы мен биіктігі;

W- Вертоллық басқару

$\xi = [\xi_1\ \xi_2\ \ 0\ \xi_4\ 0]^T$ – кездейсоқ жел соққыларының векторы

N – Матрицалық күй; M – басқару матрицасы

A және B матрицаның элементтері ауа жылдамдығына және инерциялық-массалық сипаттамаларға байланысты.

A және B бағалау параметрлерін, күй векторынан және оның туындысы аламыз [5]. Бұдан біз 2 өлшеу теңдеуін аламыз:

$$B_1 = NA + MW + \xi + \xi_{y1},$$
$$B_2 = A + \xi_{y2}$$

Бұл жерде B_1 және B_2 күй векторының компоненттерін өлшеу векторлары және олардың туындысы; өлшеу векторының компоненті шу векторыныңжай-күйі $\xi_{b2} = [\xi_V\ \xi_\theta\ \xi_\vartheta\ \xi_{\omega z}\ \xi_H]^T$ өлшеу компонентті шу векторынің туындысы күй векторы $\xi_{\mathrm{b1}} = [\xi_{\dot{\mathrm{V}}}\ \xi_{\dot{\theta}}\ \xi_{\dot{\vartheta}}\ \xi_{\dot{z}}\ \xi_{\dot{\mathrm{H}}}]^{\mathrm{T}}$

W^* бақылау құрылғысының алгоритмінде A векторы ол өлшеу векторының бөлігі ретінде ғана емес, сонымен қатар басқару векторы ретінде де қолданылады. Өлшеуіштердің жеке жиынтығын пайдаланған жағдайда A және үшін олардың шуын тәуелсіз деп санауға болады. Бұдан шығытын бақылау процессі мынадай:

$$\begin{aligned} \dot{A} &= W^* + \xi \\ \dot{N} &= 0 \\ \dot{M} &= 0 \end{aligned} \qquad (2)$$

немесе кеңейтілген күй векторнын енгізсек

$$A^* = [A^T\ a^T]^T \qquad (2)$$

мұнда a – ретімен жазылған вектор-коэффициенттерінің бағаң теңдеулері (1), яғни N және M матрицалардың жолдары,

$$\dot{A}^* = W^{**} + \xi^* \qquad (3)$$

Бақылау процесінің теңдеуінде (3) кеңейтілген енгізілген басқару векторы $W^{**} = [W^{*T}\ 0]^T$ және кеңейтілген ауытқу векторы $\xi^* = [\xi^T\ \ 0]^T$

Өлшеу теңдеуі мынандай:

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} NA+MW \\ A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi+\xi_{b1} \\ \xi_{b2} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

немесе $B = F + \xi_y$

мұнда $F = \begin{bmatrix} NA+MW \\ A \end{bmatrix},\ \xi_b = \begin{bmatrix} \xi+\xi_{b1} \\ \xi_{b2} \end{bmatrix}$

Енді бақылау процесі (3) және бақылау шарттары (4) үшін Калман сызықты емес сүзгі алгоритмін қолдануға болады [5]:

$$\dot{\hat{A}} = W^{**} + D\left(\frac{\partial F}{\partial \hat{A}}\right)^T L_b^{-1}(B - F(\hat{A}, W)) \qquad (5)$$

– бақылау құрылғысыныңтеңдеуі;

$$\dot{D} + D\left(\frac{\partial F}{\partial A^*}\right)^T L_b^{-1}\frac{\partial F}{\partial A^*}D = L_{a^*} \qquad (6)$$

– корреляциялық қате матрицасының теңдеуі D.

Алгоритімде (5), (6) $\widehat{\mathrm{A}}$ кеңейтілген күй векторын бағалау A*

L_b – өлшеу шуының қарқындылық матрицасы ξ_{b};

L_{a^*} – кездейсоқ бұзылулардың қарқындылық матрицасы ξ^*;

$$\frac{\partial F}{\partial A^*} = \begin{bmatrix} N & \frac{\partial}{\partial n}(NA + MW) \\ I & 0 \end{bmatrix},$$

I – бірлік матрица.

Басқару жүйесі ретінде тек биіктік рулын пайдалану кезінде (1) жүйемен сипатталған ҰҰА бойлық қозғалысының моделі үшін

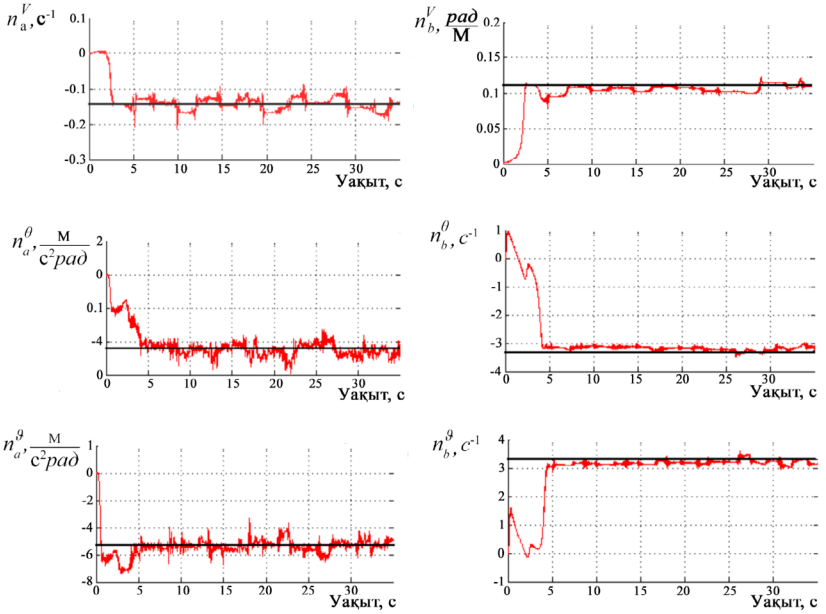
$$\frac{\partial}{\partial n}(NA+MW)=$$

$$=\begin{bmatrix} \Delta V & \Delta\theta & \Delta\vartheta & \Delta\delta_в & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta V & \Delta\theta & \Delta\vartheta & \Delta\delta_в & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta V & \Delta\theta & \Delta\vartheta & \Delta\omega_z & \Delta\delta_в \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$\frac{\partial F}{\partial A}$ матрица бағандарының сызықтық тәуелсіздігін атап өтсек.

(5) және(6) теңдеулердің бірлескен бағалау және сәйкестендіру алгоритмі.

Алгоритмнің жұмысқа қабілеттілігін тексеру үшін (5), (6) Matplotlib Python Plotting бағдарламасының көмегімен математикалық модельдеу жүргізілдік



Сурет 1 – ҰҰА-ң бойлық қозғалысы үшін күй матрицасының бірінші және екінші жолдарының коэффициенттері

Бұл жағдайда бір уақытта қозғалыстың бағалау параметрлеріне және жеңіл ҰҰА моделінің параметрлерін анықтау жүргізілді. Зерттелетін объект қозғалыс теңдеулерінің толық сызықты емес жүйесі болып көрінді. Ұшақтың ұшуы өлшеуіштердің кездейсоқ шуын ескере отырып модельденді.

Қорытынды

Әртүрлі жағдайда табиғи ортаның ұшқышсыздарға әсерін анықтап. Белгісіздік жағдайында ҰҰА қозғалысын бақылап. Векторлық күйді бағалай отырып, ұшақтың сызықтық қозғалыс теңдеулерінің коэффициенттерін бір уақытта тік сызықты көлденең ұшу алгоритмін қарастыра отырып. Бойлық үлгісін жазамыз желдің қозуын, жай-күй ескере отырып, ұшқышсыздың кеңістіктегі қозғалысын алдық.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Andrew P Colefax, Paul A Butcher, Brendan P Kelaher.** The potential for unmanned aerial vehicles (UAVs) to conduct marine fauna surveys in place of manned aircraft // ICES Journal of Marine Science. – 2018 – Vol. 75. P. 1–8.

2 **Bradley D Scholten, Abigail R Beard, Hyeryeong Choi, Dena M Baker, Margaret E Caulfield.** Short-term exposure to unmanned aerial vehicles does not alter stress responses in breeding tree swallows // Conservation Physiology – 2020. – Vol. 8.

3 **Аль-Машхадани Мохаммед Абдулрахман.** Синтез программного управления беспилотным летательным аппаратом в условиях информационных неопределенностей // автореферат – Минск, 2014.

4 **Павлушенко, М. И., Евстафьев, Г. М., Макаренко, И. К.** Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития // Москва : Изд-во ПИР-центра, 2005. – С. 610.

5 **Красовский, А. А.** Теоретические основы пилотажно-навигационных комплексов // А. А. Красовский, А. В. Лебедев, В. В. Невструев. – Москва : ВВИА им. Жуковского, 1980. – С. 372.

6 **Basden, A. G., Anthony M Brown, Chadwick, P. M., Clark, P., Massey, R.** Artificial guide stars for adaptive optics using unmanned aerial vehicles // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 477. 2018. – p. 2209–2219.

7 **Michael, G.** Wing, Jonathan Burnett, John Sessions, Josh Brungardt, Vic Cordell, Eyes in the Sky: Remote Sensing Technology Development Using Small Unmanned Aircraft Systems Journal of Forestry, Vol. 111, 2013. – p. 341–347.

8 **Карякин, В. В.** Беспилотные летательные аппараты – новая реальность войны // Журнал РИСИ (Российский Институт Стратегических Исследований) ПРОБЛЕМЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ. – 2015. – № 3 (30). – С. 130.

9 **Макаров, Д. А., Панов, А. И., Яковлев, К. С.** Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами // Журнал искусственный интеллект и принятие решений, – 2015. – № 3.

10 **Randal W. Beard, Timothy W. McLain.** Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice // Princeton University Press, – 2012. – P. 217.

References

1 **Andrew P Colefax, Paul A Butcher, Brendan P Kelaher.** The potential for unmanned aerial vehicles (UAVs) to conduct marine fauna surveys in place of manned aircraft // ICES Journal of Marine Science. – 2018 – Vol. 75. P. 1–8.

2 **Bradley D Scholten, Abigail R Beard, Hyeryeong Choi, Dena M Baker, Margaret E Caulfield.** Short-term exposure to unmanned aerial vehicles does not alter stress responses in breeding tree swallows // Conservation Physiology – 2020. – Vol. 8.

3 Al-Mashhadani Mohammed Abdulrahman. Sintez programmnogo upraleniya bespilotnim letatelnim apparatom v usloviyah informacionnih neopredelennosti [Synthesis of software control of an unmanned aerial vehicle in the conditions of information uncertainties] // Avtoreferat. – Minsk, 2014.

4 **Pavlushenko, M. I., Evstafev, G. M., Makarenko, I. K.** Bespilotnie letatelnie apparati: istoriya, primenenie, ugroza rasprostraneniya i perspektivi razvitiya [Unmanned aerial vehicles: history, application, threat of proliferation and prospects for development] // Moskva : Izd-vo PIR-centra, 2005. – s. 610.

5 **Krasovskii, A. A.** Teoreticheskie osnovi pilotajno-navigacionnih kompleksov [Theoretical foundations of flight and navigation systems] // A. A. Krasovskii, A. V. Lebedev, V. V. Nevstruev. – Moskva : VVIA im. Jukovskogo, 1980. – s. 372.

6 **Basden, A. G., Anthony M Brown, Chadwick, P. M., Clark, P., Massey, R.** Artificial guide stars for adaptive optics using unmanned aerial vehicles // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – Vol. 477. – 2018. – P. 2209–2219.

7 **Michael, G.** Wing, Jonathan Burnett, John Sessions, Josh Brungardt, Vic Cordell, Eyes in the Sky: Remote Sensing Technology Development Using Small Unmanned Aircraft Systems. – Journal of Forestry. – Vol. 111. – 2013. – P. 341–347.

8 **Karyakin, V. V.** Bespilotnie letayelnie apparati- novaya realnost voini [Unmanned aerial vehicles – the new reality of war]// Jurnal RISI (Rossiiskii Institut Strategicheskih Issledovanii) Problemi Nacionalnoi Strategii, №3(30), 2015. – P. 130.

9 **Makarov, D. A., Panov, A. I., Yakovlev, K. S.** Arhitektura mnogourevnevoi intellektualnoi sistemi upravleniya bespilotnimi letatelnimi apparatami

[Architecture of a multi-level intelligent control system for unmanned aerial vehicles]// Jurnal iskustvennii intelekt i prinyatie reshenii, № 3, – 2015.

10 **Randal W. Beard, Timothy W. McLain.** Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice // Princeton University Press, – 2012. – P. 217.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

Ю. Г. Литвинов, Т. Б. Керибаева

Определение неопределенности в летном движении беспилотного летательного аппарата

Академия гражданской авиации,
Республика Казахстан, г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Y. G. Litvinov, T. B. Keribayeva

Determination of uncertainty in the flight movement of an unmanned aerial vehicle

Civil Aviation Academy,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

В данной статье отмечается, что разработка беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является динамично развивающимся направлением, в последнее время особый интерес представляют БЛА и ряд их особенностей и областей применения. Основным направлением в разработке БЛА является повышение самостоятельности полетов, что в свою очередь повышает надежность аппарата, обеспечивает простоту эксплуатации, не требуя высокого уровня квалификации оператора, а также снижает общие затраты на выполнение задания. Покажем систему управления беспилотным летательным аппаратом, влияние препятствий на полете беспилотников и наличие трудностей, возникающих в условиях посадки.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система управления беспилотниками, модель движения беспилотного летательного аппарата, система уравнений.

This article highlights the fact that the development of unmanned aerial vehicles (UAVs) is a dynamically developing direction, which has recently been of particular interest to UAVs, as well as a number of their features and application areas. The main direction in the development of UAVs is to increase the autonomy of flights, which in turn increases the reliability of the device, provides ease of operation without requiring a high level of qualification of the operator, as well as reduces the overall cost of completing the task. We show the control system of an unmanned aerial vehicle, the impact of obstacles in the flight of an unmanned aerial vehicle and the presence of difficulties arising in the landing conditions.

Keywords: unmanned aerial vehicle, unmanned aerial vehicle control system, unmanned aerial vehicle movement model, system of equations.

МРНТИ 49.43.00

https://doi.org/10.48081/CIEY6052

А. Л. Малдыбаев, К. Х. Туманбаева
Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

МЕТОД КОНТРОЛЯ ПЕРЕГРУЗКИ В СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ, СОЗДАВАЕМОЙ M2M ТРАФИКОМ

Тенденция развития технологии межмашинного взаимодействия (M2M – machine to machine) дает широкий спектр услуг для пользователей, что ведет к увеличению активной абонентской базы. В сети мобильной связи, обслуживающей M2M трафик, при его значительном росте, возникает перегрузка, которая ведет к снижению качества обслуживания абонентов. В статье предлагается метод предотвращения такой перегрузки в сети мобильной связи.

Ключевые слова: сеть, мобильная связь, M2M устройства, трафик, перегрузка, управление.

Введение

M2M – это технология межмашинного взаимодействия, обеспечивающая связь между устройствами без участия человека.

Услуги M2M могут оказываться как для мобильных, так и фиксированных устройств M2M. В тоже время существует тенденция, при которой сервис-провайдеры услуг M2M в своих бизнес-моделях используют инфраструктуру мобильных сетей при оказании услуг для фиксированных абонентских устройств. M2M услуги находят применение в различных сферах - системы безопасности, медицина, транспорт, автоматизация промышленных процессов и других приложениях [1].

В данное время, количество подключенных устройств к сети Интернет увеличивается год за годом. В развитии технологий M2M задействованы не только производители устройств, но и операторы мобильной связи, которые акцентирует внимание на разработку и внедрение наиболее желаемых услуг M2M и Интернет-вещей [2].

M2M обеспечит бесконечное количество приложений в широком диапазоне областей, влияющих на различные среды и рынки. Это позволит

подключить огромное количество устройств M2M к Интернету и сетям, образующим так называемый Интернет вещей (IoT). [1, 2].

Целью данной работы является анализ метода минимизации основной нагрузки на сеть, путем эффективного расчёта контроля допуска с учетом перегруженности.

Методы

Устройства M2M могут быть либо установлены стационарно (например, внедрены в заводскую машину, газовые счетчики и т. д.) или мобильные (например, устройства управления автопарком в грузовых автомобилях). Неоднородность характеристик устройств M2M (например, с точки зрения мобильности, объема передаваемых данных, безопасности и т. д.) позволяет мобильным операторам выполнять различные оптимизации для группировки устройств M2M, зарядки приложений M2M и управления сетевыми ресурсами, используемыми устройствами M2M. Домен коммуникационной сети может быть проводной или беспроводной сетью. Стоить отметить, что, в эпоху мобильной связи, предпочтительно использовать среду развертываний именно мобильную сотовую связь, так как она имеет преимущество более легкой установки и подготовки, особенно для краткосрочных развертываний. Кроме того, сотовые мобильные сети предлагают различные сетевые технологии и могут поддерживать широкий спектр устройств M2M, в том числе с функциями мобильности. Стремительный рост трафика M2M создает проблемы для операторов сотовой мобильной сети. К одной из них относится перегрузка сети, поэтому исследование и разработка методов контроля перегрузки являются актуальными.

Основные обрабатываемые данные сотовой мобильной сети являются – сообщениями типа «Человек-Человек» (Human-to-Human), «машина-человек» (Machine-to-Human), «человек-машина» (Human-to-Machine), при этом можно наблюдать, что доля восходящего трафика (Uplink) ниже нисходящего трафика (Downlink). У приложений M2M напротив, взаимосвязь происходит без какой-либо внешней интервенции. Так же в M2M используются энергоэффективные-маломощные и экономически целесообразные устройства, которые генерируют больше сигналов [1, 2].

Перегрузка, которая может возникнуть из-за одновременных сигнальных сообщений от устройств M2M, может быть значительной, поскольку они могут привести к ситуациям пиковой нагрузки и могут оказать огромное влияние на работу сотовой мобильной сети [4]. В контексте M2M перегрузка сигнализации может произойти из-за сбоя в работе сервера M2M (например, устройства M2M быстро повторяют попытку подключения к удаленному серверу, который не работает) или приложения (например, синхронизированные повторения конкретного приложения M2M) или из-за

массовых попыток потенциального числа устройств M2M подключиться к сети одновременно [4]. Простое решение проблемы перегрузки сигнализации может быть реализовано в форме разработки приложений M2M операторами сотовой мобильной связи. Однако мобильные операторы не могут рисковать работой своих сетей и качеством предоставляемых услуг, оставляя всю проблему перегрузки сигнализации разработчикам приложений M2M [5].

Результаты и обсуждение

Для решения проблемы перегруженности сетей в сотовой мобильной связи на основе M2M есть метод, а именно контроль допуска с учетом перегруженности (CAAC) [4, 6]. В контроле допуска сигнальный трафик M2M выбрасывается в сеть радиодоступа (RAN), а именно в eNodeBs, с вероятностью P, которая представляет уровень перегрузки соответствующих узлов эволюционировавшей пакетной системы (EPS), таких как узел управления мобильностью (MME), а также обслуживающий шлюз (S-GW) [3, 6, 8]. Чем сильнее перегрузка в узлах EPS, тем выше вероятность отказа P. Важная особенность предлагаемой схемы состоит в том, что она основана на теории управления. Фактически, теория управления используется, во-первых, для моделирования влияния сигнального трафика M2M на длину очереди в MME/S-GW; и во-вторых, для использования пропорционального интегративного производного (PID) контроллера, чтобы избежать перегрузки MME/S-GW путем получения вероятности отклонения P, которая будет использоваться частью RAN (eNodeB) для контроля допуска трафика M2M.

Подавляющее большинство систем предотвращения перегрузок сигнализации и контроля перегрузки основаны на двух основных допущениях: а) группировка устройств M2M на основе различных показателей/функций (например, низкоприоритетный доступ, низкая мобильность, онлайн/оффлайн, малая передача данных и т. д.), и б) распределение, для каждой группы устройств M2M, запрещенных/грантовых раз, основанных на особенностях подписки его устройств M2M в HSS [4].

Перегрузка из-за M2M трафика может быть обработана выборочным отклонением запросов подключения/присоединения от устройств M2M на определенных узлах сети. Эта операция нацелена только на трафик M2M, особенно связанный с приложениями M2M, которые вызывают перегрузку, и не должна оказывать никакого влияния на основной трафик, не связан с M2M [4, 5, 7]. Отклонение запросов на подключение/присоединение должно осуществляться при обеспечении того, чтобы отклоненное устройство M2M не сразу повторно инициировало тот же запрос (например, только до истечения заранее определенного времени отката) и чтобы отклоненные устройства M2M не пытались подключиться к сети все одновременно, а скорее в рандомизированное время.

В первом случае работа устройства M2M может начаться сразу после вызова или путем добавления некоторой задержки с момента вызова. Отклонение может быть сделано на основе определенных идентификаторов группы M2M или путем просмотра трафика M2M, выделенного для конкретного APN (сети точек доступа). Запросы сетевых вложений могут быть отклонены либо в RAN (или рядом с ним) (например, eNodeB), либо MME [8].

В случае, если доступ M2M контролируется RAN, всякий раз, когда сеть будет перегружена приложениями M2M, т. е. после обратной связи о состоянии перегрузки от PDN GWs (обслуживающих шлюзов), MME отправляет уведомление узлам RAN, запускающим управление доступом M2M, указывающее информацию о запрете M2M (например, фактор запрета, группа блокировки M2M, время запрета и т. д.). Чтобы избежать перегрузки RACH (Random Access Channel), есть несколько различных направлений управления доступом M2M на уровне RAN [3, 8]. Фактически, запрос произвольного доступа RACH выдается, когда UE включается или выполняет передачу данных между eNodeBs или свободную синхронизацию с кадром восходящей линии связи(UL) [4].

Аналогично решению о запрете доступа к классу, есть схема контроля допуска с учетом перегрузки (CAAC). В CAAC устройства M2M группируются в соответствии с их приоритетными классами. В случае перегрузки каждый класс блокируется с вероятностью P, как в запрете доступа к классу (ЗДК). В отличие от ЗДК, где нет указания на то, как эта вероятность вычисляется, в CAAC вероятность отклонения P вычисляется для каждого класса соответствующими узлами EPS (например, MME, S-GW и P-GW), находящимися под перегрузкой. Исходя из этой вероятности, каждый eNodeB (на уровне RAN) принимает или отклоняет трафик M2M, принадлежащий определенному классу.

Также, здесь необходимо сосредоточиться на перегрузке, которая может произойти на MME. Такая перегрузка может быть непосредственно вызвана задержкой обработки входящих пакетов на прикладном уровне. Эта задержка может привести к высоким и переменным задержкам во входном буфере, что может вызвать переполнение буфера (т. е. потерю пакетов). Напротив, перегрузка в узлах EPS, особенно P-GWs, касается уровня связи, который может повлиять на длину исходящего буфера. В CAAC MME контролируют свой уровень перегрузки, регулируя (через вероятность отклонения p) количество входящего сигнального трафика от устройств M2M. Если перегрузка обнаружена, вероятность P устанавливается на высокое значение. В противном случае эта вероятность остается низкой. Для достижения вышеуказанной цели CAAC использует PID-контроллер (пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор), хорошо известный в области классической теории управления. Каждый MME

реализует независимый PID-контроллер, который использует только локально доступную информацию для получения вероятности P, чтобы поддерживать очередь MME вокруг оптимального значения, которое позволяет избежать как перегрузок системы, так и недоиспользования одновременно.

На рис.1 изображена предполагаемая система управления с использованием PID-контроллера. Система включает в себя все элементы, влияющие на ее длину, включая устройства M2M, eNodeBs, подключенные к MME, и саму MME. PID-контроллер принимает в качестве входного сигнала сигнал ошибки e(k), представляющий собой разницу между текущей длиной очереди и эталонным значением очереди (Q_{ref}) (т. е. порог, выше которого MME считается перегруженным), и выдает в качестве выходного сигнала *коэффициент отклонения* (RF), представляющий количество трафика для отклонения с целью уменьшения сигнала ошибки. Основная цель состоит в том, чтобы получить оптимальное значение коэффициента отклонения (вероятности отклонения), учитывая две конфликтующие метрики, например, минимизацию задержки очереди (т. е. небольшие буферы) и максимизацию пропускной способности (т. е. избегание недопотоков).

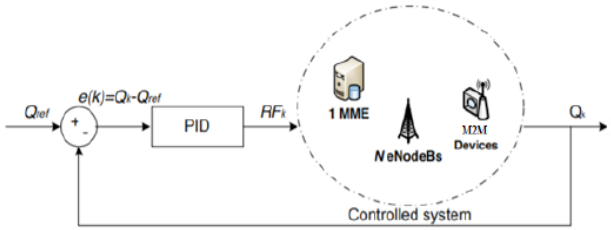


Рисунок 1 – Предполагаемая система на основе PID-контроллера

Предполагаемая система основана на PID-контроллере. Именно поэтому используется функция управления PID, чтобы выразить соотношение между RFi для каждого класса трафика Ci и e(k) следующим образом:

$$RF_i(k) = RF_i(k-1) + k_p\left(1 + \frac{T}{T_i} + k_p\frac{T_d}{T}\right)e(k) - k_p\left(1 + 2\frac{T_d}{T}\right)e(k-1) + k_p\frac{T_d}{T}e(k-2)$$

где T, e(k), e(k-1) и e (k-2) обозначают период дискретизации, сигнал ошибки в k-й момент дискретизации (t=k*T), сигнал ошибки в (k-1)-й момент дискретизации и ошибку в (k-2)-й период дискретизации соответственно.

Параметров T_i и T_d зависит от пропорционального усиления k_p, коэффициент интегрального усиления k_i и дифференциальный коэффициент k_d. Они равны (k_p / k_i) и (k_d/k_p) соответственно. Три параметра k_p, k_i и k_d представляют собой положительные определенные выигрыши ПИД-регулятора (т.е. пропорциональные, интегративные и производные выигрыши соответственно), которые оказывают важное влияние на стабильность и скорость сходимости системы к эталонному значению. Следует отметить, что эти значения получены из эмпирических результатов и не изменяют фундаментальных характеристик контроллера в условиях переменных сетей. Благодаря разработанному контроллеру достигаются следующие действия:

– когда перегрузка высока, ошибка отслеживания высока (положительные значения): система запускает реакцию, увеличивая значение RF_i для каждого класса, что увеличивает вероятность отклонения p_i, j, которые будут отправлены в eNodeBs;

– когда нагрузка системы низка, ошибка отслеживания принимает отрицательное значение (также значения RF_i), т. е. нет необходимости отклонять сигнальный трафик M2M на eNodeBs.

Теперь необходимо перевести значения RF_i в вероятность отклонения, которая будет отправлена eNodeBs, участвующим в уменьшении перегрузки; то есть eNodeBs, которые передают сигнал M2M в MME. Были определены следующие формулы для того, чтобы получить значение $p_{i,j}$ для каждого класса трафика i в eNodeB j. Где $traffic_l$ обозначает количество трафика, поступающего из eNodeB l. Действительно, вероятности $p_{i,j}$ представляют собой долю сигнального трафика M2M, который должен быть отклонен, чтобы система достигла опорного значения длины очереди в MME. Таким образом, чем выше трафик, пересылаемый eNodeB, тем выше будет значение p (которое должно применяться этим eNodeB для уменьшения трафика M2M).

$$P_ij = \begin{cases} min\left(\frac{traffic_j}{\sum_{l=1}^{n} traffic_l} * RF_i(k), 1\right) \\ 0 \end{cases}$$

Контроль(управление) допуском реализуется на уровне RAN. После получения запроса на присоединение от устройства M2M, eNodeB j применяет контроль допуска на основе вероятности отказа $p_{i,j}$, полученной от MME. Таким образом, запросы от устройств M2M, принадлежащих к классу C_i, отклоняются с вероятностью $p_{i,j}$, случайным образом выбирая равномерное значение между нулем и единицей. Если это значение больше $p_{i,j}$, запрос на присоединение M2M принимается. В противном случае запрос отклоняется, и устройству M2M указывается значение времени отсрочки, чтобы гарантировать хорошее распределение будущих входящих запросов на подключение.

Было реализовано решение CAAC с помощью симулятора NS3 [9]. Смоделирована система из 1 MME, 1 P-GW, 1 S-GW и n eNodeB. На рис.2 показан трафик M2M, он моделируется как пакетный трафик, который представляет запросы на соединение, исходящие от устройств M2M. Фактически, пакеты – это то, что характеризует приложения M2M, поскольку устройства M2M с большей вероятностью будут отправлять данные в синхронизированные периоды из-за истечения времени или возникновения события. Устройства M2M равномерно распределены между n смоделированными eNodeB. Прирост ПИД был получен эмпирически. Они не меняют никаких фундаментальных наблюдений, сделанных по поводу предложенной схемы. Остальные параметры моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры моделирования

Параметр	Значение	Детали
nMME	1	Количество MME
nP/SGW	1	Количество P/S-GWs
neNodeB	10	Количество eNodeBs
nM2MperCell	150	Количество устройств M2M на соту
K_p	0,032	Пропорциональное усиление
K_i	0,00051	Интегративное усиление
K_d	0,000312	Производная прибыль
T	0,01 с	Период выборки
Размер буфера	100	Размер буфера(пакеты)
Длина очереди	50	Эталонная длина MME (пакеты)
S	276	Скорость обслуживания в MME (запрос/с)

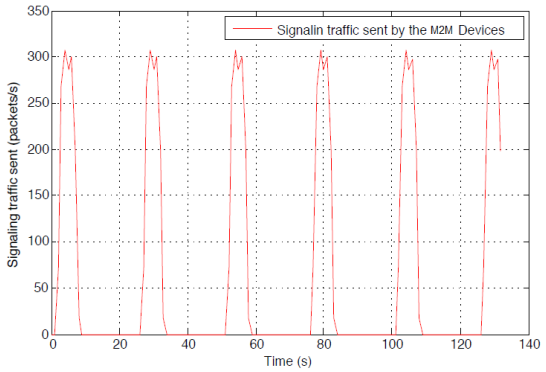


Рисунок 2 – Сигнальный трафик, генерируемый устройствами M2M

Сравнение решения CAAC с традиционным подходом, при котором для сигнального трафика M2M не используется управление доступом на узлах eNodeB. Было рассмотрено три постоянных значения вероятности отказа p. Например, установка p на 0,2 (p = 0,2) означает, что устройства M2M успешно подключаются к сети с вероятностью, равной (1-p), то есть 0,8. На рис. 3 показано изменение длины очереди MME и количество отброшенных пакетов в MME соответственно. Полученные результаты показывают, что механизм CAAC может уменьшить перегрузку на уровне MME, и это благодаря функции управления доступом. Наихудшие характеристики наблюдаются при использовании управления без доступа, когда пакеты влияют на длину очереди, что приводит к отбрасыванию пакетов. В некоторые моменты 49 пакетов (15% полученного трафика в MME) отбрасываются. В случае использование высокой вероятности отклонения (p = 0,5) значительно снижается перегрузка в MME за счет недоиспользования сетевых ресурсов. Низкое значение вероятности отклонения (p = 0,1) увеличивает использование сетевых ресурсов, но вызывает потери пакетов в MME. Заметно, что пакеты отбрасываются, когда в MME принимается пакет сигнального трафика M2M. В случае CAAC изменение длины очереди в MME во времени указывает на стабильное поведение системы (отсутствие отбрасывания пакетов из-за перегрузки), несмотря на получение сильно скачкообразного трафика от устройств M2M. Длина очереди в основном колеблется вокруг эталонного значения (50 пакетов или запросы на присоединение). Продемонстрированная стабильность системы подтверждает конфигурацию коэффициентов усиления ПИД-регулятора (kp, ki и kd), используемых в CAAC. Кроме того, при необходимости можно использовать расширение CAAC:

– когда отправитель снижает скорость передачи, чтобы избежать переполнения буферов получателя;

– цель состоит в том, чтобы уменьшить перегрузку в сети, а не в приемнике;

– предотвращение перегрузки: маршрутизаторы на пути передачи предоставляют отправителям информацию обратной связи о том, что сеть перегружена (или вот-вот станет перегруженной), так что отправители снижают скорость передачи;

– резервирование ресурсов: планирование использования доступных физических и других сетевых ресурсов, например, во избежание перегрузки;

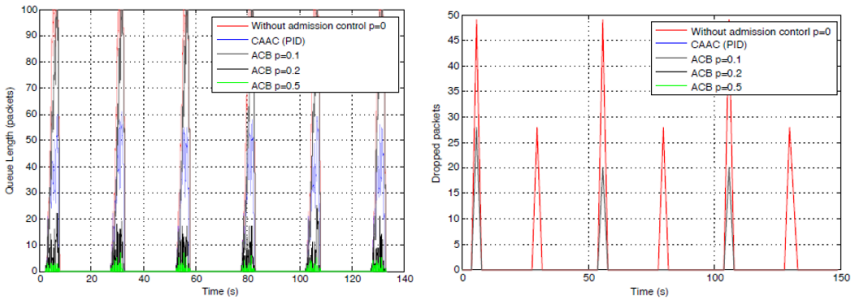


Рисунок 3 – Изменение длины очереди MME и отброс пакета в MME

Выводы

В заключении, следует подчеркнуть, что предлагаемый метод контроля перегрузки совместим с усилиями по стандартизации 3GPP, поскольку CAAC следует концепции «запрета доступа к классу». Результаты моделирования ясно показывают, что предлагаемое решение позволяет избежать перегруженности и поддерживает хорошую производительность системы по сравнению с другими существующими такие решения. Он может быть легко развернут и реализован на соответствующих узлах EPS, включая eNodeBs. Кроме того, CAAC может быть легко расширен, чтобы уменьшить перегрузку на уровне RACH, а также путем применения контроля допуска на самом устройстве M2M, то есть eNodeBs транслируют вычисленные вероятности отклонения на устройства M2M, которые, в свою очередь, принудительно реализуют их локально.

Список использованных источников

1 **Vojislav B. Misic, Jelena Misic.** «Machine-to-Machine Communications: Architectures, Technology, Standards, and Applications», 2014. P. 348.

2 **Тихвинский, В. О., Бочечка, Г. С., Нургожин, Б. И., Айтмагамбетов А. З.** Сети IoT/M2M: технологии, приложения и регулирование. Алматы. «Ақ-Шағыл», 2016. – С. 332.

3 **Тихвинский, В. О., Терентьев, С. В., Высочин, В. П.** Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура. М. Медиа-Паблишер, 2014 г. – С. 384.

4 **Самуйлов К. Е., Зарипова Э. Р.** Модель локального механизма контроля перегрузок SIP-сервера // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. – 2012. – № 7. – С. 185–187.

5 **Бородин, А. С., Парамонов, А. И.** Маршрутизация трафика в сети беспроводной связи, построенной на базе D2D-технологий // Электросвязь. 2019. № 2. с. 38–44.

6 Baseline Analytical Model for Machine-Type Communications over 3GPP RACH in LTE-Advanced Networks / K.E.Samouylov, Y.V. Gaidamaka, I.A. Gudkova ed al. // Computer and Information Sciences. ISCIS 2016. Communications in Computer and Information Science. – Springer, Cham, 2016. – Vol. 659. – P. 203–213. – DOI: 10.1007/978-3-319-47217-1_22.

7 **Taleb, T. and Kunz, A.** «Machine Type Communications in 3GPP Networks: Potential, Challenges, and Solutions», in IEEE Communications Magazine, Vol. 50, No. 3, Mar. 2012, p.178–184.

8 Modelling a Random Access Channel with Collisions for M2M Traffic in LTE Networks / V. Borodakiy, K. Samouylov, Y. Gaidamaka et al. // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2014. Lecture Notes in Computer Science / Ed. By S. Balandin, S. Andreev, Y. Koucheryavy. – Springer, Cham, 2014. – Vol. 8638. – P. 301–310. – DOI: 10.1007/978-3-319-10353-2_26.

9 Network Simulator (NS) 3, http://www.nsnam.org.

References

1 **Vojislav B. Misic, Jelena Misic.** «Machine-to-Machine Communications: Architectures, Technology, Standards, and Applications», 2014. P. 348.

2 **Tikhvinskij, V. O., Bochechka, G. S., Nurgozhin, B. I., Aitmagambetov, A. Z.** Seti IoT/M2M: technologii, prilozheniya I regulirovanie. [Tikhvinskij, V. O., Bochechka, G. S., Nurgozhin, B. I., Aitmagambetov, A. Z. IoT/M2M networks: technologies, applications and regulation]. Almaty, 2016. – 332 p.

3 **Tikhvinskij, V. O., Terent'ev, S. V., Vysochin, V. P.** Seti mobil'noi svyazi LTE/LTE Advanced: technologii 4G, prilozheniya i arhitectura. [Tikhvinskij, V. O., Terent'ev, S. V., Vysochin, V. P. LTE/LTE Advanced Mobile Networks: 4G Technologies, Applications and Architecture]. M. Media-Publisher, 2014. – 384 p.

4 **Samuilov, K. E., Zaripova, E. R.** Model' lokal'nogo mehanizma kontrolya peregruzok SIP-servera. [Samuilov, K. E., Zaripova, E. R. Model of a local mechanism for controlling congestion of a SIP server]. // T-Comm: Telecommunications and Transport. 2012, – № 7. – P. 185–187.

5 **Borodin, A. S., Paramonov, A. I.** Marshrutizaciya trafica v seti besprovodnoi svyazi, postroennoi na baze D2D-tehnologij. [Borodin, A. S., Paramonov, A. I. Routing of traffic in a wireless network built on the basis of D2D technologies]. // Elektrosvyaz. 2019, № 2. – P. 38–44.

6 Baseline Analytical Model for Machine-Type Communications over 3GPP RACH in LTE-Advanced Networks / K. E. Samouylov, Y. V. Gaidamaka, I. A. Gudkova ed al. // Computer and Information Sciences. ISCIS 2016. Communications in Computer and Information Science. – Springer, Cham, 2016. – Vol. 659. – P. 203–213. – DOI: 10.1007/978-3-319-47217-1_22.

7 **Taleb, T. and Kunz, A.** «Machine Type Communications in 3GPP Networks: Potential, Challenges, and Solutions», in IEEE Communications Magazine, Vol. 50, No. 3, Mar. 2012, p.178–184.

8 Modelling a Random Access Channel with Collisions for M2M Traffic in LTE Networks / V. Borodakiy, K. Samouylov, Y. Gaidamaka et al. // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2014. Lecture Notes in Computer Science / Ed. By S. Balandin, S. Andreev, Y. Koucheryavy. – Springer, Cham, 2014. – Vol. 8638. – P. 301–310. – DOI: 10.1007/978-3-319-10353-2_26.

9 Network Simulator (NS) 3, http://www.nsnam.org.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Ә. Л. Малдыбаев, К. Х. Туманбаева

M2M трафикпен құрылған ұялы байланыс желісіндегі жүктемені бақылау әдісі

Ғұмарбек Дәукеев атындағы
Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. L. Maldybayev, K. H. Tumanbayeva

Method for monitoring congestion in the mobile network created by M2M traffic

Almaty university of power engineering and telecommunications
named after Gumarbek Daukeev,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

Машинааралық байланыс технологиясының (M2M-machine to machine) даму үрдісі пайдаланушылар үшін қызметтердің кең спектрін береді, бұл белсенді абоненттік базаның ұлғаюына әкеледі. M2M трафигіне қызмет көрсететін ұялы байланыс желісінде, оның айтарлықтай өсуімен, шамадан тыс жүктеме пайда болады, бұл абоненттерге қызмет көрсету сапасының төмендеуіне әкеледі. Мақалада ұялы байланыс желісінде мұндай шамадан тыс жүктемені болдырмау әдісі ұсынылған.

Кілтті сөздер: желі, ұялы байланыс, M2M құрылғылары, трафик, шамадан тыс жүктеме, басқару.

The trend in the development of machine-to-machine technology (M2M – machine to machine) provides a wide range of services for users, which leads to an increase in the active subscriber base. In the mobile network serving M2M traffic, with its significant growth, there is an overload, which leads to a decrease in the quality of customer service. The article suggests a method for preventing such an overload in the mobile network.

Keywords: network, mobile communication, M2M devices, traffic, congestion, management.

МРНТИ 44.01

https://doi.org/10.48081/AABH9567

Р. К. Манатбаев[1], Н. М. Ғалым[2], Ә. М. Қосбаев[3]
[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы;
[2,3]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Нур-Султан

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Высокое потребление энергии и ее стоимость увеличивается во всем мире, и наша страна не исключение. В настоящее время процессы динамичного развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и сфера ветроэнергетики становится крайне актуальной. Возобновляемые источники энергии за последние несколько лет стали рассматриваться правительством Казахстаном как один из главных векторов развития энергетики, однако процесс развития ветроэнергетики имеет более хаотический характер.

Большую тревогу вызывает масштабного загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, связанные работой теплоэнергетических предприятий. На сегодняшний день большинство электростанций в Казахстане работают на угольном топливе, что сопровождается выбросом опасных соединений тяжелых металлов и окиси углерода. В целях ее снижения рассмотрим перспективные ветроэнергетические технологии.

Ветрогенераторы на базе горизонтально-осевых турбин – не единственное возможное решение для качественного преобразования энергии ветра в электричество. Есть и другие конструкции, иногда показывающие большую эффективность чем осевые турбины. Пример такой альтернативной конструкции – ветрогенератор с вертикальным ротором Дарье. Это необычное решение было предложено еще в 1931 году французским авиаконструктором Жоржем Дарье, который поставил перед собой задачу создать такой ветрогенератор, который бы работал при любом направлении ветра, при том не требуя строгой ориентации.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, ветроагрегат, ветротурбина, мощность, скорость, ротор Дарье.

Введение

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) относятся к наиболее перспективным системам, так называемой альтернативной энергетики. Производство электроэнергии с помощью ВЭУ растет из года в год и в некоторых странах, как Дания, Португалия и Германия энергия, генерируемая ВЭУ, составляет значительную часть потребляемой в стране.

Однако регионы различных стран, имеющие резко континентальный климат с суровыми зимами и гололедными явлениями сталкиваются с весьма серьезной проблемой – образованием льда на всех элементах ветроагрегата (лопасти, махи, башня и др.). «В какой-то момент этот лед срывается с лопасти и улетает на расстояние в сто-двести-триста метров, причем нередко речь идет о здоровенных ледышках массой в килограмм, а то и два. Конечно, такой снаряд может и убить».

И этим проблемы не ограничиваются. Зимой на протяжении 5-ти месяцев сотрудники шведской фирмы вели круглосуточный мониторинг одной из шведских ветроустановок близ города Хернèсанд, измеряя скорость ветра, толщину льда на лопастях и производительность ветрогенератора. Оказалось, что уже незначительная ледяная корка льда существенно снижает КПД установки, поскольку резко ухудшает аэродинамические характеристики лопастей. Как только толщина льда превышает один миллиметр, начинаются потери. В результате эта ветроустановка выработала на 15 процентов меньше электроэнергии.

Проблема обледенения работающей ВЭУ актуальна практически для всех типов конструкции ветроустановок. При этом неравномерное обледенение может привести к аварийным ситуациям и поэтому работающий ветроагрегат приходиться останавливать, если толщина слоя льда превышает критическое значение. В результате исследования был разработан тепловой способ защиты работающего ВЭУ в суровых климатических условиях.

В статье приводятся принцип тепловой защиты и основные результаты теоретического анализа этого процесса.

Материалы и методы

На основе экспериментальных данных особенности теплообмена крылового элемента с окружающей средой при варьировании углами и скоростью атаки воздушного потока проводились расчеты по определению теплоотдачи крылового профиля. В качестве основной методики анализа теплообмена вращающейся турбины Дарье с окружающей средой была использована аналогия Рейнольдса.

Одним из эффективных путей защиты работающей ветротурбины Дарье от налипания мокрым снегом является подогрев теплым воздухом, протекающим по внутренним каналам аппарата. В этой связи для стабильной работы ВЭУ предлагается способ тепловой защиты работающего ветроагрегата за счет организации естественной вентиляции подогретого воздуха, по внутренним полостям аппарата возникающей вследствие центробежных сил. Есть сведения, что ВЭУ покрывают гидрофобной краской, что, возможно, защищает от сплошного покрытия дождевыми каплями, но вряд ли сможет уберечь от осаждения (прилипания) влажных снежинок на холодную поверхность деталей ВЭУ при минусовой температуре среды. Поэтому тепловая защита является более радикальным средством. Причем, при сильных морозах он к тому же спасает подшипники от промерзания.

Принципиальная схема осуществления способа тепловой защиты ВЭУ карусельного типа на примере Н – ротора показана на рис. 1.

Для расчета расхода вентиляционного воздуха были поставлены специальные опыты по определению закона гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса. В качестве масштаба длины ввели эффективный диаметр канала.

При вращении турбины возникает центробежная сила $\left|\vec{F}\right| = \rho\omega^2 l_1$ (где ρ – плотность воздуха, ω – угловая скорость вращения турбины, l1 – длина маха), направленная вдоль махов в сторону рабочих лопастей, на концах которых имеются отверстия в атмосферу [1]. Махи и рабочие лопасти представляют собой каналы, образованные симметричным крыловым профилем NASA – 0021 см. рис. 2. Под действием силы $\vec{F}$ воздух внутри маха будет перемещаться к рабочим лопастям турбины, и выбрасываться в атмосферу, одновременно вызывая подсос воздуха по вертикальному кольцевому каналу, образованному между центральной стойкой ВЭУ и наружным валом вращения. Таким образом, возникает естественная внутренняя вентиляция аппарата при круговом движении махов, вызванная действием центробежных сил

$$\frac{dP}{dl_1} = \rho\omega^2 l_1 \qquad (1)$$

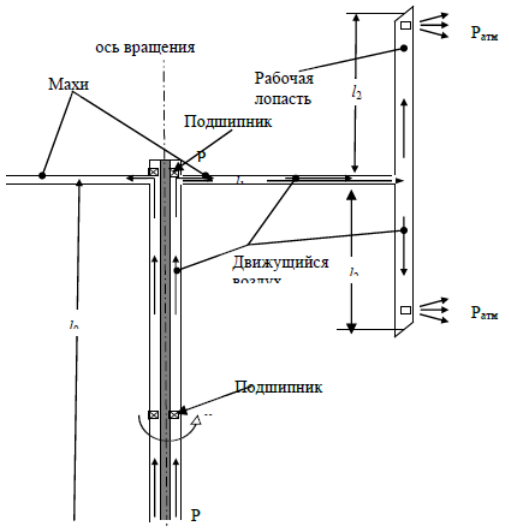


Рисунок 1 – Естественная вентиляция воздуха, вследствие работы центробежных сил

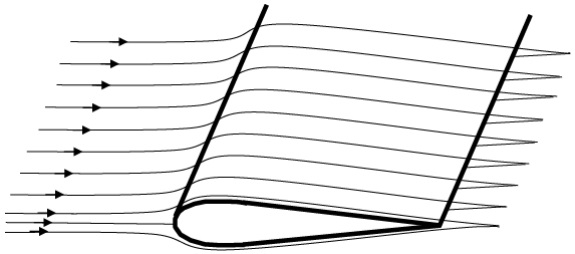


Рисунок 2 – Схема безотрывного обтекания крылового профиля NASA – 0021

Отсюда нетрудно подсчитать перепад давления на концах махов

$$\Delta P_1 = P_1 - P_2 = \rho\omega^2 \frac{l_1^2}{2}. \qquad (2)$$

Течение вязкой жидкости в канале махов испытывает сопротивление трения

$$\frac{dP}{dl_1} = \frac{\lambda_1 \rho u_1^2}{2d_1} \quad \text{или} \quad P_1 - P_2 = \frac{\lambda_1 l_1 \rho u_1^2}{2d_1}, \qquad (3)$$

где u_1, d_1, λ_1 – соответственно среднерасходная скорость, эквивалентный диаметр и коэффициент гидравлического сопротивления канала маха.

Тогда ежесекундная работа центробежных сил на перемещение воздушной массы вдоль маха за вычетом работы на преодоление сил вязкого сопротивления записывается в виде:

$$A_1 = 2\left(\frac{\rho\omega^2 l_1^2}{2} - \frac{\lambda_1 l_1 \rho u_1^2}{2d_1}\right) * u_1, \qquad (4)$$

где цифра 2 суммирует работу обеих махов. Естественная вентиляция ветротурбины возможна, если работа A_1 будет больше или равна сумме работ по преодолению сопротивления трения в кольцевом канале длиной l_0 и в рабочей лопасти – l_2

$$A_0 = \frac{\lambda_0 l_0 \rho u_0^3}{2d_0}, \qquad (5)$$

где λ_0, d_0, u_0 – известные параметры для кольцевого канала [2], а также в лопастях

$$A_2 = \frac{\lambda_2 l_2 \rho u_2^3}{d_2}, \qquad (6)$$

где, λ_2, u_2, d_2 – соответственно параметры рабочей лопасти (3).

Формула (6) получена с учетом того, что $d_1=d_2$ и воздух будет двигаться по четырем каналам длиной l_2 со скоростями $u_1/2$. Таким образом, необходимым условием определения угловой скорости вращения турбины ω, обеспечивающий естественную вентиляцию элементов турбины, является $A_1 \geq A_0 + A_2$.

Подставляя выражения (4), (5) и (6), после несложных преобразований получим:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{\lambda_0 l_0 u_0^3}{2 d_0 l_1^2 u_1} + \frac{u_1^2 (\lambda_2 + 8\lambda_1)}{8 d_1 l_1}} \qquad (7)$$

В качестве примера рассмотрим ветротурбину Дарье с прямыми лопастями мощностью 7 кВт при среднегодовой скорости ветра 6–7 м/с.

Как известно [2, 3], максимальное значение коэффициента использования энергии ветра ξ=0,45 находится между величиной быстроходности турбины

$$\chi = \frac{\omega l_1}{U} = 4 - 5$$

Мощность ветротурбин определяется формулой

$$N_в = \xi S \rho \frac{U^3}{2}, \qquad (8)$$

где U – скорость ветра, S-ометаемая поверхность. При U=7 м/с удельная мощность ветра на 1 м^2 $N_в = 221{,}2 Вт$. Из этой мощности ветротурбина может снять с каждого квадратного метра миделева сечения турбины не более 100 Вт и 7-и кВт-ная турбина должна иметь S =*70 м*^{2}, т.е. чуть больше 8-ми метра рабочие лопасти и длину махов более 4 м. Махи должны быть расположены на высоте (l_0) не менее 7 м. Для простоты примем S =64 м^2 т.е. 8м*8м. Тогда хорда лопастей и махов будет b=1м [4]. У профиля NASA – 0021 отношение периметра крыла Ф к хорде b приблизительно равно 2,1. В этом случае площадь их сечения f_1=0.14 м^2, d_1=0,28 м. Если принять u_1=2 м/с, то число Рейнольдса в полости l_1 маха Re=37333.

В формуле (7) неизвестным является коэффициент гидравлического сопротивления каналов с формой NASA – 0021, применяемых в качестве махов и рабочих лопастей. В связи с этим был поставлен специальный эксперимент с продувкой канала, имеющего форму крылового профиля NASA – 0021. В результате установлен коэффициент его гидравлического сопротивления $\lambda=4{,}62 Re^{-0.488}$, где число Рейнольдса Re определяется по среднерасходной скорости воздуха в канале u_1 и его эквивалентному диаметру $d_э$=4f/Ф (f – площадь сечения канала, Ф-его периметр).

На рисунке 3 в логарифмических координатах приведены зависимости гидравлического сопротивления в исследованном нами диапазоне чисел Рейнольдса.

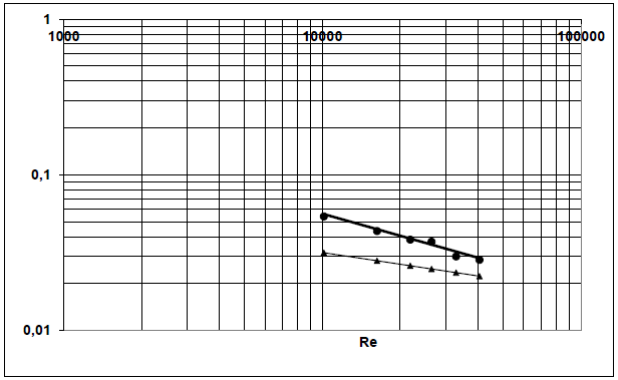


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления от чисел Рейнольдса

В l_2 полостях Re_2=18567 и λ_2=0,034. Расход воздуха в каждом махе Q/2=0.28 м^3/с или Q=0.56 м^3/с.

Результаты и обсуждение

Эквивалентный диаметр кольцевой полости d_0=0,12 м, а площадь ее сечения 0,188 м^2. Среднерасходная скорость движения воздуха в этом канале u_0=3 м/с, число Рейнольдса Re_0=20000 и λ_0=0,054. Подставляя значения величин, входящих в формулу (7) найдем, что $\omega \geq 1.3$ 1/с. Таким образом, для естественной вентиляции турбины достаточно всего 12 об/мин, в то время как при скорости ветра 7 м/с для выбранной нами турбины $\omega = 7.875$ 1/с или 75 об/мин. Заметим, при буревых скоростях ветра 12-15 м/с ветротурбина будет иметь 129–161 об/мин. Таким образом, работа центробежных сил с избытком хватает для организации естественной вентиляции внутри турбины, даже, если для усиления жесткости махов и рабочих лопастей внутри их полостей имеется арматура.

Так как ветротурбина карусельного типа хорошо обтекаемый (рис. 3) практический не создает заметного турбулентного следа и могут быть расположены в любом месте даже вблизи городов, ибо электрогенераторы обычно располагаются на уровне земли. Все эти достоинства достаточно подробно описаны в различных публикациях и даже выпущена нами книга по основам теории ветротурбины Дарье [5, 6], в результате всестороннего изучения конструктивных версии вертикально-осевых крыловых ветротурбин.

Выводы

В данной работе изложена вычислительная технология для выполнения параметрических аэродинамических исследований различных конфигураций вертикально-осевых ветротурбин. Численное моделирование турбины

с тремя витыми лопастями демонстрирует характер зависимости аэродинамических характеристик турбины от скорости ветра и угловой скорости вращения турбины, а также от изменения геометрических размеров (ширины, длины и угла наклона лопасти), определяющих конструкцию турбины. Предлагаемый подход позволяет определить условия оптимального вращения, а также оценить амплитуду пульсаций момента вращения ветротурбины в зависимости от угловой скорости вращения, скорости ветра для рассмотренных моделей ветроустановок.

Приведенные результаты экспериментальных исследований и их анализ позволяют сделать вывод, что ротор Дарье обладает большими возможностями для эффективного преобразования кинетической энергии ветра в механическую. Главным резервом повышения энергетической эффективности ротора Дарье с прямыми лопастями является рациональный выбор конструкции траверс и угла установки лопастей. Ветроколеса с ротором Дарье могут иметь более высокий уровень энергетических характеристик, чем лучшие ветроколеса пропеллерного типа. Необходимо активизировать теоретические исследования в этой области, разрабатывая методы аэродинамического расчета ротора Дарье на основе нелинейной теории крыла в нестационарном потоке.

Список использованных источников

1**Yershin, Sh. A.**Protection of rotary type wind aggregates in unfavorable climatic conditions. // International symposium on Convective heat and mass transfer in sustainable energy CONV-09 Хаммамет, Тунис. 26 апрель – 1 май, 2009. – С. 90–93.

2 **Ершина, А. К., Ершин, Ш. А., Жапбасбаев, У. К.** Основы теории ветротурбины Дарье [Текст] // – Алматы, 2001. – 104 с.

3 **Безруких, П.П.** Использование энергии ветра [Текст] // – Колос, 2008. – 197 с.

4 **Ершина, А. К., Манатбаев, Р. К.** Определение гидравлического сопротивления симметричного крылового профиля NASA-0021. – М. : Вестник КазНУ, серия математика, механика, информатика, 2006. – № 4 (51), – С. 56–58.

5 **Ершина, А. К., Ершин, Ш. А.** Ветротурбина Бидарье // Предварительный патент РК 2006/0166.1, 15.02.2006. Предварительный патент Республики Казахстан № 19114. – Астана, 26.11.2007.

6 **Ершин, Ш. А., Ершина, А. К. Манатбаев, Р. К.** Способ тепловой защиты ветроэнергетической установки карусельного типа и конструктивное

оформление (варианты) для его осуществления // Патент РФ № 2008137251/06. Бюл. № 9, 27.03.2010г. Патент России 2447318. Бюл. № 10, 10.04.2012 г.

7 **Твайделл, Дж., Уэйр, Т.** Возобновляемые источники энергии; Пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1990.

8 **Соломин, Е. В.** Ветроэнергетические установки ГРЦ-Вертикаль [Текст] // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 1. – С. 10–15.

9 **Воронин, С. М., Бабина, Л. В.** Работа ветроустановки при изменении направления ветра // Альтернативная энергетика и экология. – 2010 – № 1. – С. 98–100.

10 **Харитонов, В. П.** Автономные ветроэлектрические установки. – Москва : Изд-во Академии сельхознаук, 2006.

References

1 **Yershin, Sh. A.**Protection of rotary type wind aggregates in unfavorable climatic conditions. // International symposium on Convective heat and mass transfer in sustainable energy CONV-09 Хаммамет, Тунис. 26 апрель – 1 май, 2009. – С. 90–93.

2 **Yershina, A. K., Yershin Sh. A., Zhapbasbayev, U. K.** Osnovy teorii vetroturbiny Darie [Yershina, A. K., Yershin Sh. A., Zhapbasbayev, U. K. Fundamentals of the Darrier wind turbine theory] [Text] // – Almaty, 2001. – 104 p.

3 **Bezrukih, P. P.** Ispolzovanie energii vetra [Bezrukih, P. P. The use of wind energy] [Text] // – Kolos, 2008. – 197 p.

4 **Yershina, A. K., Manatbayev, R. K.** Opredelenie gidravlicheskogo soprotivlenie krylovogo profilya NASA-0021 [Yershina, A. K., Manatbayev, R. K. Determination of the hydraulic resistance of the symmetrical wing profile NASA-0021] –M. : Bulletin of KazNU, matematika, mekhanika, informatika series, 2006, No. 4 (51). – P. 56–58.

5 **Yershina, A.K., Yershin, Sh.A.,** Vetroturbina Bidarie [Yershina, A. K., Yershin, Sh. A., The Wind Turbine Is Bidarrier] // Preliminary patent of the Republic of Kazakhstan 2006/0166. 1, 15.02.2006. Preliminary patent of the Republic of Kazakhstan No. 19114. – Astana, 26.11.2007.

6 **Yershina, A.K., Yershin Sh.A., Manatbayev, R.K.** Sposob teplovoi zashity betroenergeticheskii ustanovki karuselnogo tipa I konstruktivnoe oformlenie (varianty) dlya ego osushestvleniya [Yershina, A. K., Yershin, Sh. A., Manatbayev, R.K. Method of thermal protection of a carousel-type wind power plant and design design (variants) for its implementation] // Patent of the Russian Federation № 2008137251/06. Bul. № 9, 27.03.2010 Patent of Russia 2447318. Bul. № 10.04.2012.

7 **Twidell, J., Weir, T.** Vozobnovlyaemye istochniki energii [Twidell, J., Weir, T. Renewable energy sources] – M. : Energoatomizdat, 1990.

8 **Solomin, E. V.** Vetroenergeticheskie ustanovki GRC-Vertical [Solomin, E.V. GRC-Vertical wind power plants] [Text] // Alternative energy and ecology. – 2010. – № 1. – С. 10–15.

9 **Voronin, S.M., Babina, L.V.** Rabota vetroustanovki pri izmenenii napravleniya vetra [Voronin, S.M., Babina, L.V. Operation of the wind turbine when the wind direction changes] [Text] // Alternative energy and ecology. – 2010. – № 1. – С. 98–100.

10 **Haritonov, V.P.** Avtonomnye vetroelektricheskie ustanovki [Haritonov, V.P. Autonomous wind power plants.] –Moskow: Publishing house of the Academy of Agricultural Sciences, 2006.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Р. К. Манатбаев[1], Н. М. Ғалым[2], Ә. М. Қосбаев[3]

Қатал климаттық жағдайлар үшін жел энергетикасының перспективті технологиялары

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[2,3]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

R. K. Manatbayev[1], N. M. Galym[2], A. M. Kosbayev[3]

Promising wind energy technologies for harsh climatic conditions

[1]Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty;
[2,3]L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 19.03.21.

Энергияны көп тұтыну және оның құны бүкіл әлемде артып келеді және біздің еліміз де солардың қатарында. Қазіргі уақытта жаңартылатын энергия көздерінің (ЖЭК) серпінді даму процестері және жел энергетикасының саласы өте өзекті мәселе болып отыр. Қазақстан үкіметі соңғы бірнеше жылда жаңартылатын энергия көздерін энергетиканы дамытудың басты векторларының бірі ретінде қарастыра бастады, алайда жел энергетикасын дамыту процесі негұрлым хаотикалық сипатқа ие.

Атмосфералық ауаның жылу энергетикалық кәсіпорындардың жұмысымен байланысты зиянды заттармен жаппай ластануы үлкен алаңдаушылық тудырады. Бүгінгі таңда Қазақстандағы электр станцияларының көпшілігі көмір отынымен жұмыс істейді, бұл ауыр металдардың қауіпті қосылыстары мен көміртегі тотығының шығарылуымен қатар жүреді. Соны азайту мақсатында перспективті жел энергетикасын технологияларын қарастырамыз.

Көлденең осьтік турбиналарға негізделген жел генераторлары – жел энергиясын электр энергиясына сапалы түрлендірудің жалғыз шешімі емес. Кейде осьтік турбиналарға қарағанда тиімділігі жоғары басқа құрылымдар бар. Мұндай балама дизайнның мысалы-Дарье жел генераторы болып табылады. Бұл ерекше шешімді 1931 жылы француз Жорж Дарье ұсынған, ол өзіне қатаң бағдарлауды қажет етпейтін, желдің кез-келген бағытында жұмыс жасай алатын жел генераторын құру міндетін қойған.

Кілтті сөздер: жел энергетикалық қондырғылар, жел агрегаты, жел турбинасы, қуат, жылдамдық, Дарье роторы.

High energy consumption and its cost are increasing all over the world, and our country is no exception. Currently, the processes of dynamic development of renewable energy sources (RES) and the field of wind energy are becoming extremely relevant. Over the past few years, renewable energy sources have been considered by the government of Kazakhstan as one of the main vectors of energy development, but the process of wind energy development is more chaotic.

Of great concern is the large-scale pollution of atmospheric air with harmful substances associated with the work of heat and power enterprises. Today, most power plants in Kazakhstan run on coal fuel, which is accompanied by the release of dangerous compounds of heavy metals and carbon monoxide. In order to reduce it, we will consider promising wind energy technologies.

Wind generators based on horizontal-axial turbines are not the only possible solution for high-quality conversion of wind energy into electricity. There are other designs, sometimes showing greater efficiency than axial turbines. An example of such an alternative design is a wind generator with a vertical Darye rotor. This unusual solution was proposed back in 1931 by the French aircraft designer Georges Darier, who set himself the task of creating a wind generator that would work in any wind direction, while not requiring strict orientation.

Keywords: wind power plants, wind aggregate, wind turbine, power, speed, the Darrieus rotor.

МРНТИ 47.33.33

https://doi.org/10.48081/NJOX9061

***А. Д. Мехтиев[1], Е. Ж. Сарсикеев[1], Е. Г. Нешина[2], А. Д. Алькина[2], С. К. Жумажанов[1]**

[1]Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Нур-Султан;

[2]Карагандинский технический университет, Республика Казахстан, г. Караганда

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА G652 НА СРОК ЕГО СЛУЖБЫ

В статье приведены результаты исследования процесса возникновения механических напряжений и деформаций при растяжении кварцевого оптического волокна. Был выполнен анализ и обзор современного состояния развития волоконно-оптических проводников. Рассмотрены вопросы возникновения микро трещин в теле оптических волокон при механических нагрузках в процессе эксплуатации. Было установлено, что в процессе намотки оптических волокон и дальнейшей эксплуатации возникают трещины. В связи с этим были проведены надлежащие исследования позволяющие решить важную производственную проблему, связанную с повышением прочности оптических волокон и снижением количества микро трещин. В качестве объекта научного исследования было выбрано кварцевое оптическое волокно стандарта G652, которое используется для производства волоконно-оптических кабелей. Известно, что для оптических волокон наибольшую опасность представляет растяжение, которое наблюдается при перемотке волокна, при его кабелировании, при прокладке и эксплуатации оптического кабеля. Практически было установлено, что механическая прочность оптического волокна стандарта G652 на разрыв составило от 54 до 58 Н, а также определено влияние на разрывную прочность волокна количества трещин и их параметры.

Ключевые слова: оптическое волокно, растяжение, усталостная трещина, моделирование оптического волокна, механические напряжения, напряженно-деформированное состояние.

Введение

Оптическое волокно (ОВ) используется для передачи информации уже более 35 лет. ОВ имеет рабочий диапазон частот, который обеспечивает передачу информационных данных более чем в сто раз больший чем радиоэфир. Материал современных оптических волокон работает с длинами световых волн 850, 1300, 1310, 1550 nm [1].

В 1966 году английские ученые Као и Хокхема, удалили примеси переходных («красящих») металлов из кварцевого стекла. Это позволило добиться снижения уровня потерь энергии оптического излучения и получить потери менее 20 дБ/км, за это открытие и получение нового материала им позднее была присуждена Нобелевская премия [2, 3]. В 1973 – 1974 гг. инженеры фирм «Bell-Labs» и «Corning» разработали метод модифицированного химического парофазного осаждения (MCVD) [4, 5]. Этот метод позволил получать в дальнейшем ОВ с минимальными потерями до ~ 0,2 дБ/км на длине волны 1550 nm, а в 2002 году удалось снизить потери до 0,148 дБ/км [1, 3]. Это событие стало началом крупномасштабных работ во всем мире по разработке технологии изготовления и использованию телекоммуникационных ОВ для волоконно-оптических систем передачи информации [3]. Оптическое волокно диаметром 125 мкм, без микроповреждений имеет идентичное усилие на разрыв, как у стальной нити аналогичного диаметра. Но при возникновении микротрещин в его теле, прочность может снизиться более чем в 3 раза. Для защиты от воздействия воды, различных загрязнений и механических повреждений материала ОВ наносится внешнее покрытие на его поверхность. Формируется первичное буферное покрытие, состоящее из акрилового лака, при этом толщина ОВ увеличивается до 245 ± 10 мкм, что позволяет повысить его прочность и защитить от образования микротрещин снижающих его механическую прочность [10, 11]. Нанесенный лак сушится в сушильной печи при помощи ультрафиолетового излучения. После чего ОВ сматывается на катушки, длиной до 50 км, и поставляется на заводы по производству кабеля или потребителю.

Материалы и методы

В настоящее время в Казахстане освоено производство волоконно-оптических кабелей, но оптические волокна импортируются из-за рубежа. Для организации полного цикла производства необходимо наладить собственное производство ОВ, которое организовано в городе Сарани на уже действующем производстве волоконно-оптических кабелей. В настоящее время с его производством связано много научных и технических проблем, которые решаются различными методами, но основными целью и задачами являются проведение научных исследований, связанных с поиском направлений повышения его прочности. В данной статье проведены исследования

механических напряжений и деформаций ОВ при его растяжении в процессе намотки и дальнейшей эксплуатации. Проведенные исследования позволяют решить важную производственную проблему, связанную с повышением прочности ОВ и снижением количества микротрещин [9–11].

Анализ литературы показал, что существует ряд ученых, работающих в данном направлении науки [7–12], исследования которых отражают актуальность проблемы, связанной с повышением прочности ОВ, так как от этого зависит срок эксплуатации волоконно-оптического кабеля, который должен быть не менее 20–25 лет.

Объектом научного исследования является кварцевое ОВ, используемое для производства волоконно-оптических кабелей. Технология производства уже известна и описана ранее [5, 6]. Для вытягивания волокна, заготовка закрепляется вертикально в патроне вытяжной установки. Нижний конец заготовки нагревается до температуры 2000 °С и вытягивается волокно вниз из плавящейся заготовки. Диаметр волоконного световода остается постоянным благодаря точной регулировки скорости вытяжки при 125 ± 2 мкм и скорости вытягивания 300 м/мин. Во время вытягивания геометрические соотношения стекла сердцевины и оболочки остаются неизменными, при уменьшении диаметра заготовки в 300 раз. При этом профиль показателя преломления $n_1 < n_2$ остаётся неизменным. Как показали исследования, данный показатель может изменяться при механическом воздействии на ОВ, а также при изменении температуры, подобные результаты описаны в статьях [8–12].

Прочностные свойства ОВ являются важнейшими характеристиками, определяющими возможность их практического использования и эксплуатации. Прочность характеризует свойство материалов сопротивляться разрушению под воздействием внешних нагрузок. Мерой прочности является предел прочности, т.е. максимальное напряжение, вызывающее разрушение материала под действием статической нагрузки. Для ОВ наибольшую опасность представляет растяжение, которое наблюдается при перемотке волокна, при его кабелировании, при прокладке и эксплуатации ОК.

Проведенные лабораторные опыты по исследованию механических свойств волокна, произведенного на заводе, с низким и нулевым пиком воды (ITU-T G 652D) диаметром 125 мкм, показали, что при растяжении отрезков длиной 1 м, количество образцов 50, скорость удлинения 20 мм/мин, ОВ удлинится на 7 % (72 мм) примерно за 2 мин. Разрушение ОВ происходит при нагрузке от 54 до 58 Н, а его удлинение составляет около 7 %. Расчетная теоретическая прочность кварцевого ОВ растягивающие усилия составила 194 Н при относительном удлинении до 26 %. Расхождение значений теоретической и технической прочности твердых тел совпало с теорией Гриффитса, которая объясняет наличием на их поверхности большого числа

микродефектов, названных «микротрещинами Гриффитса» [9–11]. Они могут быть обусловлены разрывом химических связей Si-O-Si. Согласно теории Гриффитса, отрезок ОВ может находиться под нагрузкой бесконечно долго, если величина приложенного нагрузки и возникшие механическое напряжение и деформация меньше критического значения, то отрезок ОВ не должен разрушиться в момент нагружения. Для описания изменения прочности волокна под действием статической нагрузки вводится понятие инертной прочности ОВ, при условии отсутствия в нем трещин. Но результаты практических экспериментов показывают, что если приложить к отрезку ОВ нагрузку более 80 % от критической, то ОВ через некоторое время может разрушиться. Время до разрушения зависит от величины приложенной нагрузки, размера дефекта и окружающих условий. Данное явление связано со статистической усталостью материала ОВ. Дефектов в многокилометровых волокнах много, и они изменяются вдоль волокна случайным образом. Поэтому их влияние может быть учтено только статистически, и о сроке службы волокна можно говорить только с определенной долей вероятности [10, 11].

На протяженности ОВ в 50 км обнаружено значительное количество дефектов (трещин), снижающих его прочность. Трещины распределяются вдоль ОВ случайным образом. На рисунке 1 представлено фото дефекта ОВ с трещиной.

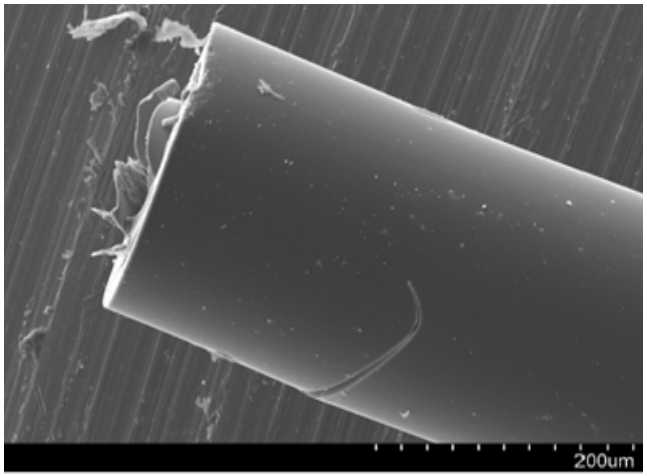


Рисунок 1 – Фото дефектов ОВ типа G652

Влияние дефектов на прочность ОВ может быть учтено только статистически, соответственно время эксплуатации ОВ определяется с

определенной долей вероятности с использованием формулы Вейбулла. На рисунке 2 приведены результаты экспериментов по определению прочности ОВ.

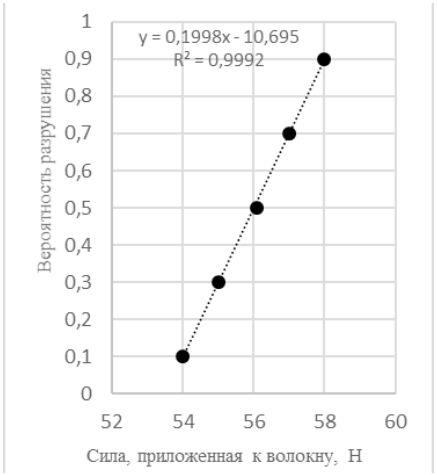


Рисунок 2 – Зависимость вероятности разрушения ОВ типа G652 при растяжении от приложенной силы

Для построения распределения Вейбулла в случайном порядке выбраны 50 отрезков ОВ и проведены измерения их прочности на разрывной машине. Доверительная вероятность P=0,95, квантиль распределения Стьюдента t =2,0095 при заданной доверительной вероятности с числом степеней свободы n k = n − k (n k –число подозрительных результатов наблюдений). ОВ разрывалось в довольно узком диапазоне от 54 до 58 Н, на разрывную прочность волокна влияет количество трещин и их параметры. Разрушения ОВ происходит при приложении среднего значения силы 56,02 Н. Абсолютная погрешность измерений ΔX= 1,96. Относительная погрешность измерений δ=3,5 %.

Компьютерное моделирование растяжения кварцевого оптического волокна.

Моделирование процесса возникновения механических напряжений и деформаций приводящих к возникновению трещин при растяжении ОВ выполнено в программе ANSYS, полученные положительные результаты подробно описаны в [13, 14]. Компьютерная модель создана с учетом всех технических параметров ОВ и нагрузок реальной разрывной машины, использованной при испытании. Визуализация картины распределения механических напряжений при нагружении ОВ, показана на рисунке 3.

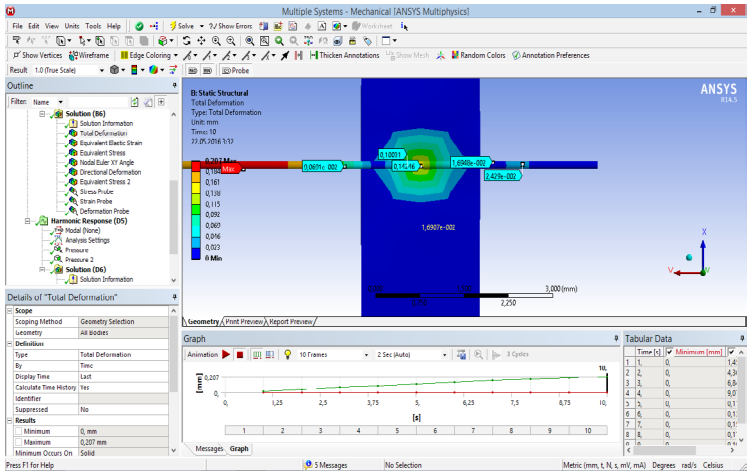


Рисунок 3 – Компьютерная модель ОВ типа G652 при растяжении

Был проведен анализ расхождений в результатах, полученных экспериментальным путем и компьютерным моделированием. Результаты сравнения полученных результатов представлены на рисунке 4.

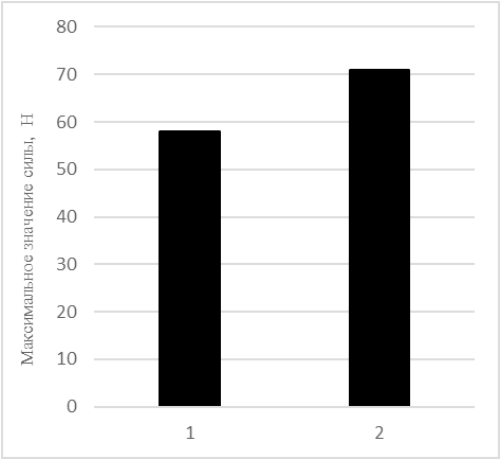


Рисунок 4 – Сравнение результатов: 1 – результаты эксперимента, 2 – результаты моделирования

На рисунке 5 представлена зависимость срока службы ОВ при его изменении его относительного удлинения в процентном отношении. Данную

зависимость можно назвать динамической усталостью. Для обеспечения требуемого срока службы волокна в пределах 25 лет необходимо обеспечить условия, при котором относительное удлинение не должно превышать 0,6 %.

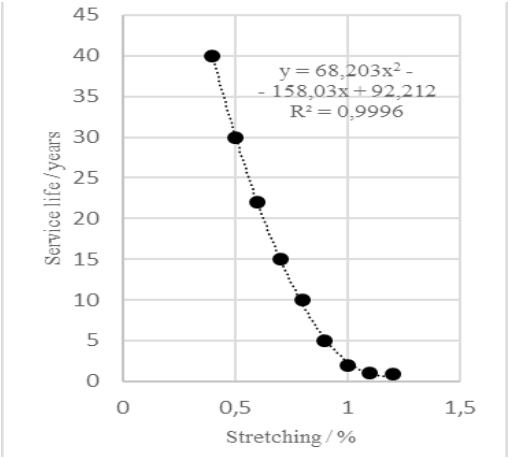


Рисунок 5 – Зависимость срока службы ОВ при его изменении его относительного удлинения в процентном отношении

Результаты и обсуждение

Относительное удлинение волокна однозначно связано с величиной напряжения, так как кварцевое волокно подчиняется закону Гука ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) в широком интервале напряжений вплоть до разрушения. Проведенный анализ разрушения материала ОВ с учетом циклического фактора нагрузки показал, что основными факторами развития усталостных трещин являются: амплитуда напряжений и деформации; длительность и количество циклов нагружения. Расхождение в результатах, полученных экспериментальным путем и компьютерным моделированием максимальной допустимой нагрузки при растяжении, составило менее 15 %. Соответственно компьютерная модель является адекватной и пригодной для проведения различного рода экспериментов связанных с процессом возникновения механических напряжений и деформаций при растяжении кварцевого оптичекого волокона.

Проведенные опыты также показали, что защитное полимерное покрытие с использование акрилового лака не имеет особого влияния на прочность ОВ, так как модуль Юнга для полимерных покрытий значительно меньше модуля Юнга для кварцевого стекла. Покрытие не может значительно повысить прочность ОВ, только в пределах 15–17 %. Его функции сводятся к защите ОВ от воздействия внешней среды, абразивных частиц и частично влаги.

Выводы

Опыты показали, что защитное покрытие обеспечивает ликвидацию первичных дефектов (трещин) в материале первичного покрытия ОВ. Покрытие способно склеивать противоположные берега микротрещин и препятствует их раскрытию. Использование металлического покрытия позволило увеличить максимальную прочность ОВ в два раза по сравнению с полимерным покрытием, если легировалась титаном. ОВ с легированным защитным покрытием менее подвержено деградации и старению. Установлено, что чем меньше скорость роста нагрузки при растяжении ОВ, тем меньше величина прочности волокна. Это можно объяснить тем, что ОВ большее время находиться под нагрузкой, соответственно создается больший интервал времени для роста трещин.

Список использованных источников

1 **Бейли, Д., Райт, Э.** Волоконная оптика. Теория и практика. – М. : Кудиц – Образ, 2006, – 320 с.

2 **Kao, C. K., Хокхэм, Дж.** «Волоконно-диэлектрические поверхностные волноводы для оптических частот» // Proc. IEE. 113 (1966) (7), – P. 1151 – 1158. DOI: 10.1049 / piee.1966.0189.

3 **Соколов, А. Н., Яцеев, В. А.** Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы. // Измерительная техника. LightWave, 2006, № 4, – С. 142–153.

4 **Gambling, W. A.** The rise and rise of optical fibers // JSTQE 6 (2000) 6, – P. 1084–1089, DOI: 10.1109 / 2944.902157.

5 **Сыркин, В. Г.** CVD-метод. Химическое парофазное осаждение. 2000, – М. : Наука, – 482 с.

6 **Nagel, S.** An overview of the modified chemical vapor deposition (MCVD) process and performance // IEEE J. Quantum Electron.18 (1982) 4, – P. 459 – 463.

7 **Dhar, A.** The mechanism of rare earth incorporation in solution doping process // Opt. Express 16 (2008) 17, – P. 12835–12846.

8 **Wang, X.** A review of the fabrication of optic fiber // Proc. SPIE 6034 (2006), – P. 346-354. DOI: 10.1117 / 12.668147.

9 **Argyros, A**. Microstructured polymer optical fibers // Journal of Lightwave Technology 27 (2009) 11, – P. 1571–1579.

10 **Skuja, L., Hirano, M., Hosono, H., Kajihara, K.** Defects in oxide glasses // Physica Status Solidi C. 2 (2005) (1), – P. 15–24.

11 **Бурде, В. А.** Методы и средства локализации дефектов волокна в строительных длинах оптического кабеля, // Журнал «Вестник связи», 7 (2010), – С. 19–21.

12 **Carlie, N., Petit L., Richardon, K.** Engineering of glasses for advanced optical fiber applications // J Eng Fiber Fabr 4 (2009) (4), - P. 21-29.

13 **Mekhtiyev, A. D., Bulatbayev, F. N., Taranov, A. V., Bashirov, A. V., Neshina, Ye. G., Alkina, A. D.** Use of reinforcing elements to improve fatigue Strength of steel structures of mine hoisting Machines (MHM) // Metalurgija 59 (2020) 1, – P. 121–124.

14 **Senthil Kumar, M.** Investigation of hardness and surface roughness in end milling glass fibre reinforced polymer composite // Metalurgija 58 (2019) 1–2, – P. 109–112.

References

1 **Bejli, D., Rajt, È.** Volokonnaya optika. Teoriya i praktika. [Beyli D., Rayt E. Fiber optics. Theory and practice] – M. : Kudits – Obraz, 2006, – 320 p.

2 **Kao, S. K., Hokhèm, Dj.** «Volokonno-dièlektriçeskie poverhnostnye volnovody dlya optiçeskih çastot» [Kao S. K., Khockhem J. « Fiber-dielectric surface waveguides for optical frequencies »] // Proc. IEE. 113 (1966) (7), – P. 1151–1158. DOI: 10.1049 / piee.1966.0189.

3 **Sokolov, A. N., Yatseev, V. A.** Volokonno-optiçeskie datçiki i sistemy: printsipy postroeniya, vozmojnosti i perspektivy [Sokolov A. N., Yatseev V. A. Fiber optic sensors and systems: design principles, possibilities and prospects.] // Measuring technology. LightWave, 2006, № 4, – P. 142–153.

4 **Gambling, W. A.** The rise and rise of optical fibers // JSTQE 6 (2000) 6, – P. 1084–1089, DOI: 10.1109 / 2944.902157.

5 **Syrkin, V. G.** CVD-metod. Himiçeskoe parofaznoe osajdenie. [Syrkin V. G. CVD-method. Chemical vapor deposition] 2000, - Moskow: Science, - 482 p.

6 **Nagel, S.** An overview of the modified chemical vapor deposition (MCVD) process and performance // IEEE J. Quantum Electron.18 (1982) 4, – P. 459 – 463.

7 **Dhar, A.** The mechanism of rare earth incorporation in solution doping process // Opt. Express 16 (2008) 17, – P. 12835–12846.

8 **Wang, X.** A review of the fabrication of optic fiber // Proc. SPIE 6034 (2006), – P. 346-354. DOI: 10.1117 / 12.668147.

9 **Argyros, A**. Microstructured polymer optical fibers // Journal of Lightwave Technology 27 (2009) 11, – P. 1571–1579.

10 **Skuja, L., Hirano, M., Hosono, H., Kajihara, K.** Defects in oxide glasses // Physica Status Solidi C. 2 (2005) (1), – P. 15–24.

11 **Burde, V. A.** Metody i sredstva lokalizacii defektov v voloknah stroitel`nyh dlinah optiçeskogo kabelya [Burde V. A. Methods and means of localization of fiber defects in the building lengths of an optical cable] // Journal «Bulletin of communication», 7 (2010), – P. 19–21.

12 **Carlie, N., Petit L., Richardon, K.** Engineering of glasses for advanced optical fiber applications // J Eng Fiber Fabr 4 (2009) (4), - P. 21-29.

13 **Mekhtiyev, A. D., Bulatbayev, F. N., Taranov, A. V., Bashirov, A. V., Neshina, Ye. G., Alkina, A. D.** Use of reinforcing elements to improve fatigue Strength of steel structures of mine hoisting Machines (MHM) // Metalurgija 59 (2020) 1, – P. 121–124.

14 **Senthil Kumar, M.** Investigation of hardness and surface roughness in end milling glass fibre reinforced polymer composite // Metalurgija 58 (2019) 1–2, – P. 109–112.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. Д. Мехтиев[1], Е. Ж. Сарсикеев[1], Е. Г. Нешина[2],
А. Д. Алькина[2], С. К. Жумажанов[1]

G652 оптикалық талшығының механикалық созылуының оның қызмет ету мерзіміне әсерін зерттеу

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;
[2]Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. J. Mekhtiyev[1], Y. Z. Sarsikeyev[1], Ye. G. Neshina[2],
A. D. Alkina[2], S. K. Zhumazhanov[1]

Study of the influence of the mechanical tension of optical fiber G652 on the life of its service

[1]S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;
[2]Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.
Material received on 19.03.21.

Мақалада кварц оптикалық талшығының созылу кезіндегі механикалық кернеулер мен деформациялардың пайда болу процесін зерттеу нәтижелері келтірілген болды. Талшықты-оптикалық өткізгіштердің қазіргі уақытта даму жағдайына сәйкес талдау және шолу жасалды. Жұмыс кезінде механикалық жүктемелер әсер ету кезінде оптикалық талшықтардың денесінде микро жарықтардың пайда болу мәселелері қарастырылады. Оптикалық талшықтарды орау және одан әрі пайдалану кезінде жарықтар пайда болатыны

анық екені табылды. Осы жағдайға сай жүргізілген зерттеулер негізінде оптикалық талшықтардың беріктігін арттыруға және микро жарықтар санын азайтуға байланысты маңызды өндірістік мәселені шешуге мүмкіндік беретіні анықталды. Ғылыми зерттеу нысаны ретінде талшықты-оптикалық кабельдерді өндіру үшін қолданылатын G652 стандарттына жататын кварц оптикалық талшығы болып табылды. Оптикалық талшықтар үшін ең үлкен қауіпқа жататын жағдай талшықты орау кезінде, немесе оны кабельдеу кезінде, немесе оптикалық кабельді төсеу және пайдалану кезінде байқалатын созылу жатады. G652 стандартына жататын оптикалық талшығының жыртылу кезіндегі механикалық беріктігі 54-тен 58 Н-ге дейін екені анық болып шықты, сондай-ақ пайда болатын жарықтар саны мен олардың параметрлері талшықтың жыртылу беріктігіне әсер ететіндігі анықталды.

Кілтті сөздер: оптикалық талшық, созылу, шаршау, оптикалық талшықты модельдеу, механикалық кернеулер, кернеулі күй.

The article presents the results of a study of the process of occurrence of mechanical stresses and deformations during stretching of a quartz optical fiber. The analysis and review of the current state of development of fiber-optic conductors is carried out. The issues of micro-cracks in the body of optical fibers under mechanical loads during operation are considered. In the process of winding optical fibers and further operation, cracks appear. The studies carried out allow us to solve an important production problem associated with increasing the strength of optical fibers and reducing the number of microcracks. The object of scientific research is a quartz optical fiber of the G652 standard used for the production of fiber-optic cables. For optical fibers, the greatest danger is the stretching that is observed when rewinding the fiber, during its cabling, during the laying and operation of the optical cable. It was found that the mechanical tensile strength of the G652 optical fiber was from 54 to 58 N, as well as the effect of the number of cracks and their parameters on the tensile strength of the fiber.

Keywords: optical fiber, tension, fatigue crack, optical fiber modeling, mechanical stresses, stress-strain state.

ҒТАМР 73.29.17

https://doi.org/10.48081/LQOF4732

Қ. М. Сансызбай[1], А. А. Кисманова[2], Л. А. Соболева[3]
[1]Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[2,3]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

ҚАЗАҚСТАН ТЕМІР ЖОЛ ЖЕЛІСІНДЕ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ РАДИОБЛОКИРОВКА ЖҮЙЕСІНДЕ МӘЛІМЕТТЕР ТАРАТУ КЕЗІНДЕ АҚПАРАТ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Бұл жұмыста радио арна бойынша мәліметтерді тарату қағидаттары, ақпарат қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсаттары, сондай-ақ радио арна бойынша ақпаратты беру кезіндегі қауіптер қарастырылады. Радио арнаның өткізу қабілеті туралы деректерді, пакеттердің өту уақытын, пакеттердің радио желісінде жоғалуы туралы деректерді эксперименттік анықтау үшін ақпараттық қауіпсіздік талаптарын ескере отырып, цифрлық радио байланыс арнасы бойынша пойызбен өзара әрекеттесу эксперименттері магистральді темір жол желісінде жүргізілді. Эксперименттік зерттеу көрсеткендей, стандартты сандық радио арна жүйесінде пакеттің кез-келген мөлшерінде жүйеге жүктеме артқан кезде пакеттердің өту уақыты артады. Эксперимент арқылы жүйенің берілу жылдамдығы 1,4 кбит/с дейінгі пакеттердің өту уақытының талаптарын қанағаттандыратыны дәлелденді. 1,6–2,0 кбит/с жүктемесінен бастап пакеттердің өту уақыты қолайсыз болады және сонымен бірге жоғалған пакеттердің пайызы артады. Эксперимент жүргізу кезінде радиоблокировка орталығы мен TETRA коммутация орталығының байланысы, радиоблокировка орталығын электрлік орталықтандыру жүйелерімен байланыстыру, локомотивтің борттық жабдықтарын жаңғырту, борттық және стационарлық жабдықтардың жұмыс алгоритмдерін тексеру мәселелері қаралды. TETRA стандартты сандық радио байланыс жүйесінің жұмыс сипаттамалары радиоблокировка жүйесінің тұрақты бұзылуына әкелетіні анықталды.

Кілтті сөздер: ақпараттық қауіпсіздік, сандық арна, пакеттердің өту уақыты, радио желі, TETRA стандарт.

Кіріспе

Магистральді желі телімдерінде жүк және жолаушы тасымалдаудың технологиялық үрдісінде көптеген мамандандырылған техникалық құралдар іске қосылған, бірақ әсіресе темір жол автоматика, телемеханика және телекоммуникация құралдары тасымалдау қауіпсіздігін қамтамасыз етеді және заманауи темір жол көлігіндегі инфрақұрылымның міндетті құрамдас бөліктерінің бірі болып табылады.

Қазіргі уақытта «Қазақстан темір жолы «Ұлттық компаниясы» АҚ темір жол желісінде оның үздіксіз жұмыс істеу мақсатында мәліметтер қабылдау және тарату түрлі жүйелерінің көмегімен жауапты құпия ақпараттың елеулі көлемі жіберіледі. Жауапты ақпарат ретінде бұл жерде бұрмалануы жүйені функциялау алгоритмінің қауіпті бұрмалануы орын алатын жұмысқа қабілетсіз күйге әкелетін дискертті жүйеде қолданылатын ақпарат түсіндіріледі. Жауапты ақпарат тасушы командалар тасымалдаудың функционалдық қауіпсіздігіне тікелей әсер етеді. Сонымен қатар, пойыздар қозғалыс кестесі мен орналасқан жері жөніндегі логистикалық ақпарат жоғары коммерциялық құндылыққа ие. Пойыздар қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету негізі темір жол автоматика және телемеханика жүйелері болып табылады [1].

Темір жол автоматика және телемеханика жүйелері теміржол көлігінің стационарлық жолдық және жылжымалы объектілерімен қозғалыс қауіпсіздігінің орнатылған деңгейінде бақылау және басқаруды қамтамасыз ететін техникалық құралдар жиынтығын құрайды, онда ақпарат тарату каналдарының рөлі мен талаптары айтарлықтай жоғарылайды. Шетелдік және отандық тәжірибе негізінде ақпарат тарату жүйелерінің даму үрдісі дәстүрлі құралдардан, мысалы рельс тізбектерінен басқа, жаңа жүйелерді, мысалы – сандық радиоканалдар пайдалану қажет екендігін көрсетеді. Бұл ретте сымсыз жүйелердің ақпарат қауіпсіздігі және кедергіден қорғау аспектілері маңызды фактор болып табылады [2].

Қазіргі уақытта жаңа экономикалық жағдайда темір жол көлігі жұмысының тиімділігін арттыру жаңа автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу және тасымалдау үрдісін басқару және оның жүзеге асырылуын бақылау үшін қажетті жедел және мерзімдік ақпаратпен қамтамасыз ету негіздері секілді сенімді және қауіпсіз жоғары сапалы байланысыз мүмкін емес.

Соңғы онжылдық телекоммуникациялық салада, соның ішінде теміржол көлігінде белсенді технологиялық дамуды көрсетті. Техникалық ерекшеліктерді өзекті ету үшін теміржол көлігінде инновацияларды іске асыру бойынша теориялық және тәжірибелік зерттеулер жүргізеді, бұл оларға жыл сайын ерекшеліктерін жаңартуға мүмкіндік береді.

Пойыздар қозғалысын басқару кезінде радиоблокировка жүйесінде негізгі канал радиоканал болып табылады. Радиоблокировка жүйесі аясында диспетчерлік қозғалысты басқару орталығы мен жылжымалы құрам арасында да, диспетчерлік орталық пен жол құрылғысының арасында да мәлімет алмасу үшін TETRA стандартының сандық радиобайланысы пайдаланылады [3].

Сандық радиоканалда ақпарат қорғау әдістері

Пойыздар қозғалысын реттеу жүйелерінің құрылғыларының техникалық мүмкіншіліктерін басшылыққа ала отырып, мыналарды анықтау қажет: оңтайлы телеграмма форматы, ашық канал арқылы жіберу кезінде мәліметтерді қорғау белгілі шараларының жинағы. Радиоканал арқылы ақпарат жіберу кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету құралы мыналар болып табылады: қауіпсіздікті қамтамасыз ету процедуралары және қауіпсіздік кодын пайдалану [4, 5]. Келесі белгілі қорғаныс құралдарын қолдану есебінен: хабардың реттік нөмірі, уақыт мөртабаны, уақытты бақылау, кері байланыс (түбіртек), жіберуші және қабылдаушы идентификаторы, ұқсастыру әдісі, қауіпсіздік коды, криптографиялық әдістер, қауіпсіздікпен байланысты келесі сипаттамаларға қол жеткізіледі: хабардың дұрыстығы, хабардың бүтіндігі, хабардың уақытылы болуы, хабардың тізбегі.

Еуропалық стандартқа сәйкес [5] қауіптер/қорғаныстар матрицасын құрамыз (1-кесте).

Кесте 1 – Сандық радиоканалдардағы қауіптер/қорғаныстар матрицасын

Қауіп түрі[1)]	Қорғаныс шаралары							
	Реттік нөмірі[2)]	Уақыт мөртабаны	Уақытты бақылау[2)]	Жіберуші және қабылдаушы идентификаторы[2)]	Кері байланыс[2)]	Ұқсастыру әдісі	Қауіп-сіздік коды[2)]	Крипто-графиялық әдістер
Қайталану	×	×						
Жоғалу	×			×	×	×		
Қосылу	×							
Жүру тәртібінің өзгеруі	×	×						
Бұрмалану							×	×
Кідіру		×	×					
Мани-пуляция					×	×		×

Ескертпе:
[1)] – [6] сәйкес, х – қолданылады,
[2)] «автор әзірлеген борт және стационарлық құрылғылардың өзара әрекеттесу алгоритмінде қолданылған қорғаныс шаралары.

Жергілікті радиоканал ашық тарату жүйесі болып табылатындықтан, хабардың келесі нұсқалары мүмкін болады:

1) Мәліметтерді қорғау тарату кодының көмегімен жүзеге асырылады.

Тақырыбы	Пайдалы мәліметтер	Қосымша мәліметтер	Тарату коды

Сурет 1 – Сандық радиоканалда ақпарат ұсыну құрылымы (1 нұсқа)

Бұл нұсқа ақпарат жіберу жүйесінде жауапсыз хаттама арқылы жіберілетін хабар құрылымын ұсынады. Қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін, жоғарыда айтылғандай, қауіпсіздікті қамтамасыз ету процедуралары мен қауіпсіздік коды қажет.

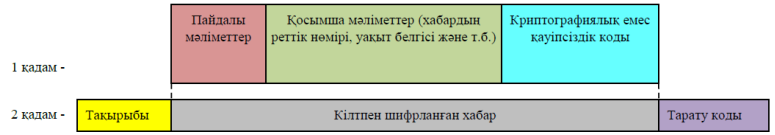
2) Мәліметтерді қорғау қауіпсіздік кодының көмегімен жүзеге асырылады.

Тақырыбы	Пайдалы мәліметтер	Қосымша мәліметтер (хабардың реттік нөмірі, уақыт белгісі және т.б.)	Қауіпсіздік коды	Тарату коды

Сурет 2 – Сандық радиоканалда ақпарат ұсыну құрылымы (2 нұсқа)

Қауіпсіздік кодының басты мақсаты мәліметтер бүтіндігін қамтамасыз ету, яғни мәліметтер аумағын кездейсоқ және әдейі бұрмалануларда қорғау болып табылады. Бұл ретте мәселе бұрмалануды алдын алуда емес, оларды анықтауда. Оның себебі электромагнит әсерлерінің салдарынан туындаған кедергілер де, тарату каналы компоненттерінің жүйелік немесе кездейсоқ істен шығулары, сондай-ақ саналы зиян келтіру болуы мүмкін.

3) Мәліметтерді қорғау қауіпсіздік кодының көмегімен жүзеге асырылады, ал кейін кілт көмегімен шифрланады, яғни мәліметтер ашық мәтін болып жіберілмейді. Кілт көмегімен шифрлау қасақана бұрмалануда, ал код – кездейсоқ бұрмалануда қорғауды қамтамасыз етеді (3 нұсқа).



Сурет 3 – Сандық радиоканалда ақпарат ұсыну құрылымы (3 нұсқа)

4) Кездейсоқ және қасақана бұрмалануларда қорғау үшін түрлі кодтар қолдану. Алайда бұл нұсқаны пайдалану алдыңғы нұсқамен салыстырғанда хабардың артық бөлігінің ұзаруына әкеледі.

Тақырыбы	Пайдалы мәліметтер	Қосымша мәліметтер (хабардың реттік нөмірі, уақыт белгісі және т.б.)	Криптографиялық емес қауіпсіздік коды	Крипто-графиялық қауіпсіздік коды	Тарату коды

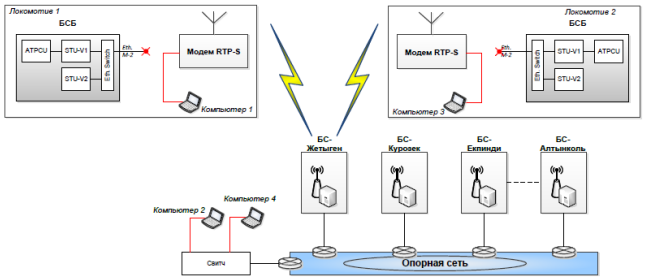
Сурет 4 – Сандық радиоканалда ақпарат ұсыну құрылымы (4 нұсқа)

Борт құрылғыларының шектелген ресурстарын ескере отырып хабар құрылымы ретінде «1 нұсқаны» таңдаймыз (сурет 1). МОСТ СМ1/ММ1 радиостанциясын пайдаланумен 160/460 МГц диапазонында жергілікті радиоканал арқылы жұмыс кезінде тарату коды сонымен бірге қауіпсіздік кодының функцияларын атқаратын болады. Желілік тораптарды (GSM-R/ TETRA) пайдалануға көшу кезінде 2–4 нұсқа хабарларының құрылымын қолдану мүмкін болады.

Мәліметтер жіберу кезінде қорғаныс үшін ең кеңінен қолданылатын кодтар желілік кодтар класына жатады. Желілік кодтар белгілі бір санды, атап айтқанда d-1 (d Хэмминг қашықтығын құрайды) дара биттік қателіктерді сенімді анықтауды қамтамасыз етеді. Бұдан жоғары қателіктер тек белгілі бір ықтималдылықпен анықталады. Көптеген жағдайда қауіпсіздік кодына тәуелсіз дара биттік қателіктерді анықтау талабы ғана қойылмайды. Қолданылатын қауіпсіз емес тарату жүйесі (GSM, TETRA, DECT) мұндай қателіктерді анықтаудың өзіндік механизмдерін қамтып үлгерген. Қауіпсіздік коды кедергі әсері тарату жүйесі кодының мүмкіндігі жеткіліксіз болғанда немесе тарату жүйесі қателіктер арқылы жұмыс істеген жағдайда өзінің белсенділігін көрсетуі тиіс. Екі жағдайда да тек тәуелсіз дара биттік қателіктер орын алады деп есептеуге болмайды. Бақылау өрнегін есептеудің бұл әдісінде полиномдық арифметика қолданылады, яғни екілік сандар екілік коэффициенттері бар ресми полиномдармен көрсетіледі [7]. Бұл әдіс дара, екілік қателіктер, еркін тақ еселі қателіктер, сондай-ақ топтық түрдегі қателіктер, яғни бөлгіш ұзындығынан аспайтын топ ұзындығымен қатар келе жатқан биттердің кейбір санының бұрмалану түрінде көрінетін қателіктер табылатындығына кепілдік береді.

Эксперименттік сынақ нәтижелері

Радиоблоктау жүйесін тәжірибеде қолдану Алматы магистральді желі бөлімшесінің Жетіген – Алтынкөл телімінде қарастырылған. Тәжірибелік қолдану кезінде радиоблокировка орталығы мен TETRA коммутациялау орталығының байланысы, радиоблокировка орталығын [8] электрлік орталықтандыру жүйелерімен байланыстыру, локомотивтің борт құрылғысын жаңғырту, борт және стационарлық құрылғының жұмыс алгоритмдерін тексеру сұрақтары қарастырылды. Ұсынылған сұлбаға сәйкес жүргізілген эксперименттік сынақ.



Сурет 5 – Тәжірибелер жүргізу сұлбасы

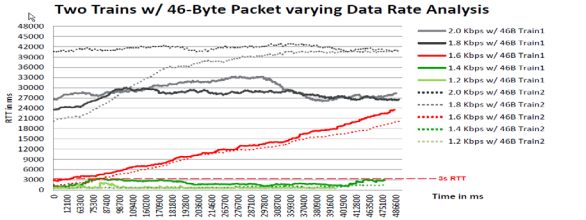
1 және 3 компьютерлер сәйкесінше 1 және 2 локомотивте RTP-S радиомодеміне қосылады, 2 және 4 компьютерлер Жетіген бекетінің ЭО постында свитч арқылы TETRA тіреуіш желісіне қосылады.

Барлық компьютерде де түрлі жылдамдықта ұзындығы әр түрлі UDP топтарын жіберуді жүзеге асыратын бағдарламалық қамтамасыз ету орнатылған (2 және 4 компьютерде «қабылдағыш», 1 және 3 компьютерде «таратқыш»). Топтар санын арттыру немесе азайту арқылы радиоканалға жүктемені өзгерту орындалады.

Топтар алмасу 1 және 2, 3 және 4 компьютерлер арасында жұп бойынша жүргізіледі.

Тәжірибе жүргізу кезінде барлық 4 компьютерде UDP топтарын жіберуді және қабылдауды қамтамасыз ететін мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз ету қосылады. Тәжірибеге қатысатын локомотивтер қозғалмай тұрады, басқа жабдықталған локомотивтердің радиоблокировка бойынша қозғалысы жүзеге асырылмайды.

Каналдың өткізу қабілеттілігі мәліметтерін, пакеттердің өту уақытын, TETRA радиожелісінде топтардың жоғалуы жөнінде мәліметтерді құрайтын өлшеу нәтижелері 6-суретте ұсынылған.



Data Rate (Kbps)	Packet Size (Bytes)	Avg. RTT (s)	% Loss
1.2	46	0.73	0.14
1.4	46	2.06	0
1.6	46	11.89	0
1.8	46	27.82	23.99
2.0	46	29.47	32.90

Data Rate (Kbps)	Packet Size (Bytes)	Avg. RTT (s)	% Loss
1.2	46	0.62	0
1.4	46	0.85	0
1.6	46	10.63	0
1.8	46	35.25	11.74
2.0	46	41.59	24.54

Сурет 6 – Өлшемі 46 байт пакеттің өту уақыты

6-суретте көрініп тұрғандай, өлшемі 46 байт пакеттер үшін тәжірибе мыналарды көрсетті:

– 1,2–1,4 кбит/с жылдамдықта пакеттерді тарату уақыты екі локомотивте де орнатылған модемдер үшін барлық тест кезінде 1-ден 3 секундқа дейін қалыптасады;

– 1,6 кбит/с жылдамдықта уақыт 21 секундқа жетеді, бұл ретте уақыт өте келе тәжірибенің басталу мезетінен өту уақыты артады. Бұл заңдылық локомотивтерде орнатылған екі модемге де тән;

– 1,8 кбит/с жылдамдықта пакеттерді тарату уақыты бірінші локомотивте 30 секундқа, екінші локомотивте – 40 секундқа жетті;

– 2,0 кбит/с жылдамдықта пакеттерді тарату уақыты бірінші локомотивте 33 секундқа, екінші локомотивте – 42 секундқа жетті.

Радиожеліде пакеттердің жоғалу пайызы 7 суретте ұсынылған.

Сурет 7 – Радиожеліде пакетердің жоғалу пайызы

7 суретте көрініп тұрғандай, тарату жылдамдығы мен пакеттерді жеткізу уақытының артуымен олардың жоғалу пайызы да өседі (2,4 кбит/с жылдамдықта 50 %-ға дейін) [8].

Осылайша, сандық радиобайланыс жүйесіне қойылатын талаптарға сәйкес қажетті өткізу қабілеттілігі 4,8 кбит/с кем болмауы тиіс, бір жаққа топтар тарату уақыты 0,5 сек, екі жаққа да сәйкесінше 1 сек. артық болмауы қажет.

Жүргізілген тәжірибелер пакеттердің кез-келген өлшемінде TETRA стандартының сандық радиобайланыс жүйесінде жүктеме артқан кезде пакеттердің өту уақыты жоғарылайтындығын көрсетеді. 1,4 кбит/с дейін тарату жылдамдығы үшін жүйе пакеттердің өту уақыты талаптарын қанағаттандырады. 1,6–2,0 кбит/с жүктемеден бастап пакеттердің өту уақыты қолайсыз үлкен болады да, 30–40 секундқа жетеді, бұл қойылатын талаптарға сай келмейді. Бұнымен бір уақытта жоғалған пакеттер пайызы өседі (50 %-ға дейін), бұл ретте бірнеше қатар пакеттердің жоғалуы байқалады.

TETRA желісін жобалау кезінде теміржол үшін анықтау қажет негізгі параметр қажетті радиожабынын қамтамасыз ету үшін пайдаланылатын базалық бекеттер саны болып табылады. Қуатты таратқыштары бар базалық бекеттердің қатысты шағын санын ашу жөнінде шешім қабылдануы мүмкін. Осылайша теміржол желісі тек бірнеше ірі радио-ұяшықтармен жабылатын болады. Балама ретінде, бірдей теміржол желісі қуаты аз таратқыштары бар базалық бекеттердің көп санымен жабылуы мүмкін. Осылайша, жабу көптеген салыстырмалы шағын радио-ұяшықтармен жүзеге асырылатын болады.

Базалық бекеттерді ашудың таңдалған стратегиясы өткізу қабілеттілігіне, трафиктің ұяшыққа қатысты жүктемесіне, кедергілер мен тарату жиілігіне әсер етеді, яғни жабу тәсілі радиоблокировкада мәліметтер тарату өнімділігіне әсер етуі мүмкін.

Теміржол байланыс желісі радиоблокировка жабдықталған пойыздар жұмыс істейтін темір жолдың барлық аумағында қабылданатын сигнал қуаты тұрғысынан жеткілікті жабуды қамтамасыз етуі қажет.

Радиоблокировка радиожабыны талаптарына сәйкес төменгі байланыс желісінің қабылданатын сигналының минималды рұқсат етілген қуаты – 92 дБм құрайды. Мұндай қуаттың минималды талабы (P_{min} = – 92 дБм) осында ұсынылған талдауда қолданылды.

Алайда TETRA-де қабылдағыш сезімталдылығы жолақ ені, түрлендіру және қабылдағыш шу коэффициенті секілді көптеген факторларға байланысты екендігін айта кеткен жөн. Мысалы, жолақ ені 5 МГц, қуаты – 92дБм түрленуі 16QAM және кодталуы 1/2 канал сигналды қабылдауға жеткілікті деп болжауға болады. Одан да сенімді түрлендіру жағдайында, мысалы, QPSK, тіпті қабылдау қуаты – 100 дБм сигнал қол жеткізілген өткізу қабілеттілігі есебінен пайдаланылуы мүмкін. Артынша, TETRA желісінде, тіпті егер мақсатты мәнге – 92 дБм қол жетпесе, қосылу сонда да мүмкін болады.

TETRA ұяшықтарының диапазоны базалық бекет тарату қуатының функциясы секілді. Радиожабынын жоспарлау мақсаты үшін тарату қуаты мен ұяшық диапазоны арасында байланыс табылуы қажет.

P_t – бұл базалық бекет таратқышы шығысындағы қуат. Кеңістік арқылы радиосигналдың таралу шамасына қарай ол бос кеңістіктік жоғалуы, кескін және т.б. секілді түрлі физикалық құбылыстар салдарынан әлсірейді. Бұл әсер сигнал жолының жоғалуы деп аталады. Жолдың жоғалуы әсерінен, қабылдағыш таратқыштар неғұрлым қашық болса, соғұрлым қабылданатын сигналдың қуаты төмен болады. Артынша, радиоэлемент сигналдың қажетті деңгейі болатын әрекет етудің шектелген радиусына ие болады.

Жабуды жоспарлау үшін базалық бекет (P_t) қабылданатын сигнал қуатын (P_t) тарату қуатының функциясы ретінде және базалық бекет (d) қашықтықты

табу қажет. Бұл ұяшықтар диапазонын (P_r) қабылданатын сигнал P_{min}=-92 дБм мәнге жақындайтын (d) қашықтық ретінде бағалауға мүмкіндік береді.

Жолдың жоғалуынан басқа, антеннаның күшеюі, кабельдегі жоғалулар және интерференциялық қосымша секілді сигнал қабылдауға әсер ететін басқа да маңызды факторларды ескерген жөн. Сондықтан дБм шкаласында (P_r) қабылданатын қуат келесі формуламен өрнектелген көптеген салымдардың қосындысын құрайды:

$$P_r = P_t + G_{enb} - L_{enb} + G_{ue} - L_{ue} - L, \quad дБм \tag{1}$$

мұндағы: P_t – базалық бекеттің тарату қуаты; G_{enb} – базалық бекет таратқыш антеннасының күшеюі; L_{enb} – таратқышта фидер кабелінің жоғалуы; G_{ue} – UE-қабылдағыш антеннасының күшеюі; L_{ue} – қабылдағышта қуаттың жоғалу қосындысы, мысалы, кіруге кеткен жоғалулар әсерінен; M – кедергілер мен өшуге арналған алаң; L – сигнал жолының жоғалуы.

Сигнал жолының жоғалуы түрлі тарату модельдерінің көмегімен бағалануы мүмкін. Бұл жұмыста 3GPP стандартына сәйкес анықталған түрде COST231 Hata түрлендірілген моделі пайдаланылған. COST231 Hata моделі қоршаған ортаға (қалалық, қала маңындағы) байланысты түрлі факторларды құрайды. Модель ретінде «Қала маңындағы макрожолдың жоғалуы» жолдың жоғалу моделі таңдалған. Бұл модельде (L) сигналы жолының жоғалуы келесі формуламен өрнектеледі:

$$L = (44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log_{10}(h_{enb})) \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) + 45{,}5 + (35{,}46 - 1{,}1 \cdot h_{ue}) \cdot \log_{10}(f_c) - 13{,}82 \cdot \log_{10}(h_{ue}) + 0{,}7 \cdot h_{ue} + C, \quad дБ \tag{2}$$

мұндағы d – eNodeB және UE арасындағы қашықтық (м); h_{enb} – eNodeB антеннасының биіктігі (м); h_{ue} – UE антеннасының биіктігі (м); f_c – тасымалдаушы жиілік (МГц); C – тұрақты коэффициент, қала ішінде 3 дБ және қала маңында 0 дБ тең.

Ұяшықтар диапазоны олардың арасындағы қашықтық ретінде бағаланады, онда P_r=P_{min}. d_r табу үшін L жолдың жоғалуы (1) теңдеуде (1) жолдың жоғалуымен ауыстырылады, ол келесі түрде өрнектеледі:

$$P_{min} = P_t + G_{enb} - L_{enb} + G_{ue} - L_{ue} - M - L = P_t + G_{enb} - L_{enb} + G_{ue} - L_{ue} - M - (44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log_{10}(h_{enb})) \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) -$$
$$- 45{,}5 - (35{,}46 - 1{,}1 \cdot h_{ue}) \cdot \log_{10}(f_c) + 13{,}82 \cdot \log(h_{ue}) - 0{,}7 \cdot h_{ue} - C, \quad дБм$$

Жоғарыда келтірілген теңдеуді түрлендіре отырып, d_r ұяшықтар диапазонын анықтауға болады:

$$d_r = 10^{\left(3+\frac{x}{44{,}9-6{,}55\log_{10}(h_{enb})}\right)}, \quad M \tag{3}$$

мұндағы:

$$x = P_t + G_{enb} - L_{enb} + G_{ue} - L_{ue} - M - P_{\min} - 45{,}5 - (35{,}46 - 1{,}1 \cdot h_{ue}) \cdot \log_{10}(f_c) + 13{,}82 \cdot \log_{10}(h_{ue}) - 0{,}7 \cdot h_{ue} - C \tag{4}$$

Бұл теңдеу радиохабарын ашуды жоспарлау үшін пайдаланылатын негізгі құрал болып табылады.

Қорытынды

Эксперименттік жолмен алынған нәтижелер еліміздің магистральды темір жол желісінде ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін радиоблокировка жүйесін қолдану кезінде цифрлық радиобайланыс жүйесінің пайдалану сипаттамаларын одан әрі анықтауға мүмкіндік береді.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Сансызбай, К. М.** Метод взаимодействия по радиоканалу, обеспечивающий информационную безопасность движения поездов [Текст]: Сансызбай К. М., Куандыков А. А. Программа XLIV Международной научно-практической конференции КазАТК им. М. Тынышпаева «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», – Алматы : 2020. – С. 56–59.

2 **Бахтиярова, Е. А.** Сравнительный анализ микропроцессорной централизации стрелок и сигналов [Текст]: Бахтиярова, Е. А., Сансызбай К. М. Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева Серия «Технические науки и технологии». – Астана, 2018, – № 2 (123). – С. 30–36.

3 **Сансызбай, Қ. М.** Еліміздің темір жол желілерінде ұлттық «Kazahstan Train Control Systems» жүйесін енгізу арқылы пойыздар қозғалысының ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз ету [Текст]: Сансызбай Қ. М., Куандыков А. А. «Интеллектуалдық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар – «Қазақстан-2050» стратегиясы аясында үшінші индустриалды революцияны жүзеге асырудың құралы»: V Халықаралық ғылыми пратикалық конференция баяндамалар жинағы. – Астана, 2018. – Б. 460–463.

4 EN 50159-1 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in transmission systems [Текст].

5 EN 50159-2 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling [Текст].

6 **Зорин, В. И.** Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения [Текст]: Зорин В. И., Алабушев И. И., Титов В. П. ЦПИИТЭИ. Серия «Сигнализация и связь» – М., 2004. – С. 39–60.

7 **Гыо, Б.** Система передачи данных с защитой от опасных отказов [Текст]: Гыо Б. Alsthom Review. – 1987. – № 7. – С. 51–62.

8 **Sansyzbay, K. M.** Radio communication channel interaction method, maintaining train performance information security [Текст]: Sansyzbay K. M., Kuandykov A. A., Bakhtiyarova Ye. A., Vlasenko S. V., Mamyrbaev O. Zh. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – Islamabad, 2020. – Vol.98. № 06. – P. 957–969.

References

1 **Sansyzbay, K. M.** A method of interaction over a radio channel that ensures the information security of train traffic [Sansyzbay K. M., Kuandykov A. A. Program of the XLIV International Scientific and Practical Conference KazATK named after M. Tynyshpayeva «Innovative technologies in transport: education, science, practice»] [Text]. Almaty. – 2020. – P. 56–59.

2 **Bakhtiyarova, E. A.** Comparative analysis of microprocessor centralization of arrows and signals / [Bakhtiyarova, E. A., Sansyzbay K. M. Bulletin of the Eurasian National University named after L. N. Gumilyov Series «Engineering Science and Technology»] [Text]. – Astana, 2018, – № 2 (123). – P. 30–36.

3 **Sansyzbay, K. M.** Ensuring information security of train traffic through the introduction of the national system «Kazahstan Train Control Systems» on the country's railway networks / [Sansyzbaı Q. M., Kýandykov A. A. «Intellektýaldyq aqparattyq jáne komýnıkasıalyq tehnologıalar – «Qazaqstan-2050» strategıasy aıaasynda úshinshi ındýstrıaldy revolúsıany júzege asyrýdyń quraly»: V Halyqaralyq ǵylymı pratıkalyq konferensıa baıaandamalar jınaǵy] [Text]. – Astana, 2018. – P. 460–463.

4 EN 50159-1 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in transmission systems [Text].

5 EN 50159-2 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling [Text].

6 **Zorin, V. I.** Locomotive safety devices, traffic / [Zorin V. I., Alabushev I. I., Titov V. P. SEITEI. Series « Alarm and communication] [Text] – M., 2004. – P. 39–60.

7 **Guo, B.** Data transmission system with protection against dangerous failures] / Guo, B. Alsthom Review [Text]. – 1987. – № 7. – P. 51–62.

8 **Sansyzbay, K. M.** Radio communication channel interaction method, maintaining train performance information security [Текст]: Sansyzbay K. M., Kuandykov A. A., Bakhtiyarova Ye. A., Vlasenko S. V., Mamyrbaev O. Zh. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – Islamabad, 2020. – Vol.98. № 06. – P. 957–969.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

К. М. Сансызбай[1], А. А. Кисманова[2], Л. А. Соболева[3]

Обеспечение безопасности информации при передаче данных в действующей системе радиоблокировки на сети железных дорог Казахстана

[1]Академия логистики и транспорта,
Республика Казахстан, г. Алматы;
[2,3]Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.
Материал поступил в редакцию 19.03.21.

K. M. Sansyzbay[1], A. A. Kismanova[2], L. A. Soboleva[3]

Ensuring the security of information when transferring data in the existing radio blocking system on the railway network of Kazakhstan

[1]Academy of Logistics and Transport,
Republic of Kazakhstan, Almaty;
[2,3]S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.
Material received on 19.03.21.

В данной работе рассматриваются принципы передачи данных по радиоканалу, цели обеспечения безопасности информации, а также угрозы при передаче информации по радиоканалу. Для экспериментального определения данных о пропускной способности канала, времени прохождения пакетов, данных о потере пакетов в радиосети проведены эксперименты взаимодействия с поездом по цифровому каналу связи с учетом требований по информационной безопасности. Проведенные эксперименты показывают, что при любом размере пакета в системе цифровой радиосвязи стандарта при увеличении нагрузки на систему увеличивается время прохождения пакетов. С помощью эксперимента было доказано, что система удовлетворяет требованиям для времени прохождения пакетов для скорости передачи до 1,4 кбит/с. Начиная с нагрузки 1,6–2,0 кбит/с время прохождения пакетов становится неприемлемо большим и одновременно с этим, растет процент потерянных пакетов. При проведении эксперимента рассмотрены вопросы связи центра радиоблокировки и центра коммутации TETRA, увязки центра радиоблокировки с системами электрической централизации, модернизации бортового оборудования локомотива, проверки алгоритмов работы бортового и стационарного оборудования. Установлено, что эксплуатационные характеристики системы

цифровой радиосвязи стандарта TETRA приводят к регулярным сбоям системы радиоблокировки.

Ключевые слова: информационная безопасность, цифровой канал, время прохождения пакетов, радиосеть, стандарт TETR.

The work herein considers the principles of radio communication channel data transfer, aims of information security maintenance, as well as threats when transmitting information over a radio channel. For experimental determination of the data on channel capacity, batches transit time, data on batches loss in radio net there have been carried out the experiments of interaction with a train along the digital communication channel with account of requirements to information security. The experiments show that for any packet size in the digital radio communication system of the standard, the time of packet transmission increases with an increase in the load on the system. It has been experimentally proven that the system meets the requirements for packet transit time for transmission rates up to 1.4 kbit/s. Starting with a load of 1.6–2.0 kbit/s, the packet transit time becomes unacceptably long and at the same time, the percentage of lost packets increases. In the experiment, the questions of when the radio interlocking center and center switching TETRA, link centre radio interlocking systems of electric centralization, modernization of avionics locomotive, testing the algorithms on-Board and stationary equipment. It is established that the operational characteristics of the digital radio communication system of the TETRA standard lead to regular failures of the radio blocking system.

Keywords: information security, digital channel, batches transit time, radio network, TETRA standard.

МРНТИ 50.01.14

https://doi.org/10.48081/OKZI7495

***С. З. Сапақова[1, 2], Ж. Е. Мұқашев[2],**
Н. С. Сыдықова[2], Е. Б. Әліп[2]

[1]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП КЛИЕНТТЕРДІҢ АҒЫНЫН БОЛЖАУ

Бұл жұмыста жетілдірілген аналитиканың басты құраушысы болып табылатын машиналық оқыту алгоритмдері арқылы клиенттер ағынын болжау мәселесі қарастырылды. Жұмыс барысында жетілдірілген аналитикаға шағын шолу жасалып, машиналық оқытудың басты алгоритмдері: KNN, MLP, RFC, Gradient Boosting, XGB классификаторларын қолданылып, кросс-валидация арқылы нәтижелер бағаланды. Қазіргі уақытта көптеген компаниялар бәсекелестік ортада өз позициясын сақтауда бұрыннан келе жатқан тұтынушыларын ұстап қалу үшін арнайы аналитикалық талдауларды пайдалануда. Жаңа тұтынушыны маркетингтік құралдармен шақыру бұрынғы қолданыстағы клиентті ұстап қалудан әлдеқайда компанияларға қымбатқа түсетіні белгілі. Жұмыс барысында телекоммуникация саласының қарқынды дамуына байланысты өздерінің абоненттік базасын көбейтуге бейім компания жұмысына байланысты мәліметтер қарастырылды және талданды. Біз ұсынылып отырған жұмыста телекоммуникация саласындағы тұтынушылардың мінез-құлқын түсіну және өз кезегінде олар компаниядан кететін-кетпейтіндігін болжау барысында машиналық оқыту алгоритмдерін қолдандық.

Кілтті сөздер: машиналық оқыту, алгоритмдер, әдістер, корреляциялық матрица, жетілдірілген аналитика, тұтынушы, болжау.

Кіріспе

Тұтынушылардың мінез-құлқының сипаттамаларын зерттеу соңғы жылдардағы өзекті тақырып болуда. Тұтынушылардың мінез-құлқымен және тұтынушылар құрылымының өзгеруімен байланысты экономикалық

даму жеткілікті зерттелмеген. Ұзақ уақыт бойы экономика негізінен өндіріс факторлары жағынан нарықтық өсу мен бәсекелік артықшылықтарды талдауға бағытталды (әңгіме еңбек, жер, капитал, кәсіпкерлік қабілет және инновация туралы).

Қазіргі уақытта тұтынушының мінез-құлқын қалыптастырудың маркетингтік тәсілдерін білу талап етіледі. Компаниялардың бәсекелестік артықшылықтары, өз кезегінде, ғалымдар екі экономикалық саладағы өзара байланысты өзгерістердің нәтижесі ретінде қарастырады: өндіріс пен тұтыну. Бұл тәсіл маркетинг теориясының дамуында жаңа мүмкіндіктер ашады. Кез-келген маркетингтік процесті эмпирикалық зерттеу фирма рентабельділігінің оның тұтынушылар мәселелеріне назарын аударуына тікелей тәуелділігін анықтайды [1].

Жұмыстың мақсаты: машиналық оқыту алгоритмдерін қолдана отырып телекоммуникация саласында қызмет көрсететін компаниядағы клиенттердің бәсекелестерге кету санына болжау жасау болып табылады.

Жұмыстың өзектілігін қазіргі уақытта көптеген компаниялардың өз тауарлары мен қызметтерін ұсыну барысында үлкен мәліметтерді тиімді қолдануында болып тұр.

Телекоммуникация саласының қарқынды дамуына байланысты қызмет көрсетушілер өздерінің абоненттік базасын көбейтуге бейім. Бәсекелестік ортада өмір сүру қажеттілігін қанағаттандыру үшін қолданыстағы тұтынушыларды ұстап қалу үлкен проблемаға айналды. Жаңа тұтынушыны сатып алу бұрынғы қолданыстағы клиентті ұстап қалудан әлдеқайда көп деген пікірлер айтылады. Осылайша, телекоммуникация салалары тұтынушылардың мінез-құлқын түсіну және өз кезегінде олар компаниядан кететін-кетпейтіндігін болжау үшін озық аналитиканы қолдануы керек.

Жетілдірілген аналитика – бұл болашақ тенденцияларды, оқиғалар мен мінез-құлықты болжауға бағытталған жоғары деңгейлі әдістер мен құралдарды қолданатын мәліметтер ғылымының бөлігі. Бұл ұйымдарға жетілдірілген статистикалық модельдерді іске асыруға мүмкіндік береді, мысалы, есептеулер, сондай-ақ олардың жұмысының болашақ бағыттары. Жетілдірілген талдау процесі әр уақытта үш бағытты да қамтиды. Жетілдірілген аналитиканы құрайтын негізгі бағыттар болжамды деректерді талдау, үлкен деректер және деректерді өндіру болып табылады. Деректерді өндіру – үлкен деректерге де, болжамды аналитикаға да шикі деректерді ұсынатын жетілдірілген аналитиканың негізгі аспектісі. Үлкен деректерді талдау қолданыстағы түсініктерді табу және деректер нүктелері мен деректер жиынтығы арасында байланыс орнату және деректерді тазарту үшін пайдалы.

Болжамдық аналитика осы таза жиынтықтар мен бар ақпаратты экстраполяциялау және болжау және болашақтағы әрекеттерді, тенденциялар мен тұтынушылардың мінез-құлқын болжау үшін қолдана алады.

Жетілдірілген аналитика сонымен қатар машиналық оқыту және жасанды интеллект, семантикалық талдау, визуалдау, тіпті жүйке желілері сияқты дамып келе жатқан технологияларды қамтиды. Олар бірге деректерді талдаудың заманауи бағдарламалық жасақтамасына сенімді болжам жасауға және тереңірек деңгейде BI талдауларын жасауға жеткілікті дәлме-дәл сурет жасауға көмектеседі [3–5].

1 Жетілдірілген аналитиканы қолдану және талдау әдістері

Жетілдірілген деректерді талдау барлық салаларда болашақ оқиғаларды болжау үшін қолданылады. Маркетингтік топтар оны белгілі бір веб-қолданушылардың сілтемені басу ықтималдығын болжау үшін пайдаланады; денсаулық сақтау ұйымдары белгілі бір емдеуден пайда көруі мүмкін пациенттерді анықтау үшін рецепт бойынша аналитиканы қолданады; және ұялы желі провайдерлері диагностикалық аналитиканы желінің ықтимал үзілістерін болжау үшін пайдаланады және оларға белсенді қызмет көрсетуге мүмкіндік береді.

Аналитиканың озық әдістері кең таралуда, өйткені бизнес жаңа деректерді жедел жасауды жалғастыруда. Енді көптеген ұйымдар үлкен деректер қоймаларына немесе үлкен деректерге қол жеткізе отырып, олардың әрекеттерін жақсы түсіну үшін болжамды аналитиканы қолдана алады.

Жетілдірілген талдау процесі деректерді интерпретациялаудың математикалық тәсілдерін қамтиды. Деректер жиынтығындағы заңдылықтарды, корреляцияларды және топтастыруларды анықтау үшін классикалық статистикалық әдістер, сонымен қатар тереңдетілген оқыту сияқты жаңа, машиналық әдістер қолданылады. Осыған сүйене отырып, пайдаланушылар келесі тоқсанда веб-қолданушылардың қай тобының желілік жарнамамен немесе кірістің өсуімен байланысты болатындығына қарамастан, болашақ мінез-құлық туралы болжам жасай алады [6–7].

Көп жағдайда бұл күрделі болжаушы және нұсқамалық талдаулар үшін жоғары білімді маман қажет. Бұл кәсіпқойлардың математика бойынша дайындығы кең; компьютерлік кодтау тілдері, мысалы, Python және R тілі; және белгілі бір бизнес саласындағы тәжірибе.

2 Зерттеу әдістері мен алгоритмдері

Бұл жұмысты Jupyter Notebook қолдана отырып жүзеге асырдық. Бұл – интерактивті, графиктер мен түсіндірме мәтіндерін қамтитын құжаттарды жасауға және бөлісуге мүмкіндік беретін ашық және тегін веб-қосымша. Деректерді тазарту және түрлендіру, сандық модельдеу, статистикалық модельдеу, деректерді визуалдау, машиналық оқытудағы көптеген мәселелерді жеңіл және жылдам шешуге мүмкіндік береді.


```
import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
import plotly.express as px
import mglearn

from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import confusion_matrix,accuracy_score
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.model_selection import cross_val_score
from xgboost import XGBClassifier
from sklearn.neural_network import MLPClassifier
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier, GradientBoostingClassifier

import warnings
warnings.simplefilter(action='ignore', category=FutureWarning)
```

Сурет 1 – Jupyter Notebook –тегі кітапханаларды қосу және орнату барысы

```
data.info()
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 3299 entries, 0 to 3298
Data columns (total 11 columns):
 #   Column       Non-Null Count  Dtype
---  ------       --------------  -----
 0   ottok        3299 non-null   int64
 1   in_week      3299 non-null   int64
 2   newcontract  3299 non-null   int64
 3   plan         3299 non-null   int64
 4   usingdata    3299 non-null   float64
 5   calltoserv   3299 non-null   int64
 6   mins         3299 non-null   float64
 7   calls        3299 non-null   int64
 8   Charge       3299 non-null   float64
 9   overfee      3299 non-null   float64
 10  roaming      3299 non-null   float64
dtypes: float64(5), int64(6)
memory usage: 283.6 KB
```

Сурет 2 – Датафреймдегі басты бағандар мен олардың типтері

Жоба барысында телекоммуникациялық компанияға қатысты мәліметтермен жұмыс істедік, бұл csv файл 11-бағаннан және 3299 жазбадан тұрады. 2-суретте көрсетілген.

Әрбір кестедегі атрибутқа жеке тоқталсақ:

«ottok» – телекоммуникациялық компаниядағы клиенттердің кету саны айлық есеп бойынша.

«in_week» – бір аптада қосылатын акаунттар саны (клиенттер саны);

«newcontract» – бұрынғы клиенттердің келесі мерзімге келісімшартты ұзартуының саны;

«plan» – мәліметтер жоспарының түрі.

«usingdata» – мәліметтерді қолдануы.

«calltoserv» – клиенттерді қолдау орталығына звондау жиілігі.

«mins» – бір күндегі қолдану минуттары.
«calls» – бір күндегі қоңыраулар саны.
«Charge» –бір айдағы төлем сомасы.
«overfee» – тарифі біткендегі жасайтын артық төлемдері.
«roaming» – роумингтегі уақыты.

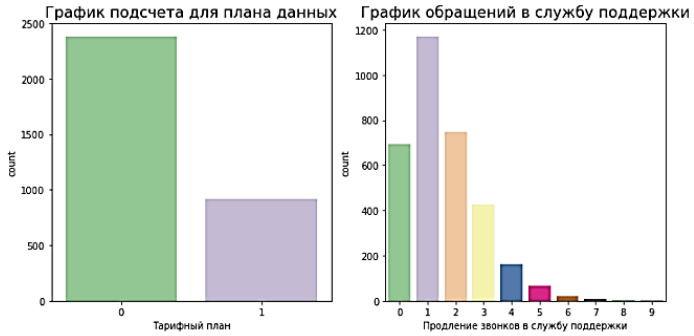
Бұл жердегі мақсатты болжам жасалатын бағаң ол, **ottok** – клиенттердің кету санына болжам жасау.

```
data.shape
```

```
(3299, 11)
```

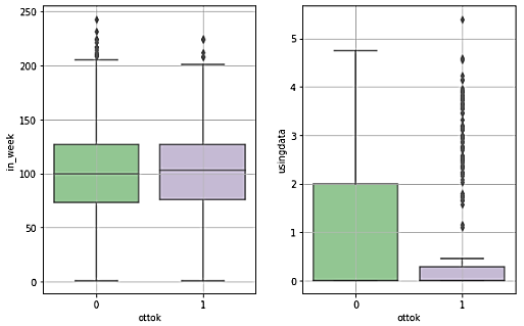
```
ax = plt.figure(figsize=(10,10))
plt.subplot(2,2,1)
sns.countplot(data = data , x = "ottok" , palette="Accent")
plt.title("График подсчета для оттока клиентов" , fontsize=16)
plt.xlabel("Отток клиентов")
plt.subplot(2,2,2)
sns.countplot(data = data , x = "newcontract" , palette="Accent")
plt.title("График для продления контракта" , fontsize=16)
plt.xlabel("Продление контракта")
plt.subplot(2,2,3)
sns.countplot(data = data , x = "plan" , palette="Accent")
plt.title("График подсчета для плана данных" , fontsize=16)
plt.xlabel("Тарифный план")
plt.subplot(2,2,4)
sns.countplot(data = data , x = "calltoserv" , palette="Accent")
plt.title("График обращений в службу поддержки" , fontsize=16)
plt.xlabel("Продление звонков в службу поддержки")
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Сурет – Негізгі параметрлер бойынша графиктердің коды



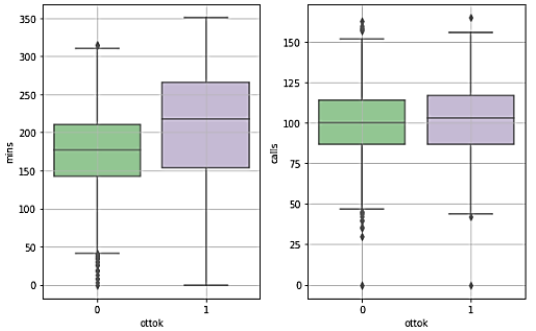
Сурет 4 – Негізгі парамертрлер бойынша визуализация

Бұл диаграммалардан клиенттердің контарктіні созбау саны -1 екенін, яғни клиенттер өздері таңдаған мобильді желіден сирек жағдайда кететінін байқауға болады. Қоңырау шалу арқылы тарифтік пландарын өзгерту сандарында анық көруге болады.



Сурет 5 – Boxplot типтегі диаграмма арқылы визуализация

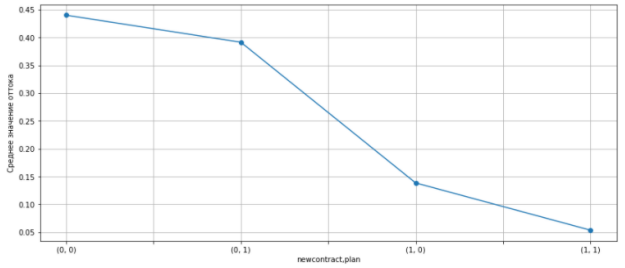
Boxplot – бес сандық жиынтыққа негізделген деректердің таралуын көрсетудің стандартталған тәсілі («минимум», бірінші квартил (Q1), медиана, үшінші квартиль (Q3) және «максимум»). Бұл мәліметтердің асып түсетін деңгейін және олардың маңыздылығы көрсетеді.



Сурет 6 – Boxplot типтегі диаграмма арқылы визуализация

Сондай-ақ, ол деректердің симметриялы екендігін, деректеріңіздің қаншалықты тығыз топтастырылғандығын анық бейнелейді.

```
ax = plt.figure(figsize=(14,6))
data.groupby(['newcontract',"plan"])['ottok'].mean().plot(figsize=(14,6),kind="line",color="C0",marker="o")
plt.ylabel("Среднее значение оттока")
plt.grid(True)
plt.show()
```



Сурет 7 – Клиенттердің кетуінің орташа саны

Бұл суретте клиенттерді «жаңа келісім-шартқа отыру» және «тарифтік жоспар» бойынша groupby командасы арқылы топтап сондағы клиенттердің кетуінің орташасын шығарып тұр. Графиктен жоғарыдағы алған нәтижелердің анық дәлелі келтірілді.

```
data.loc[data["ottok"]==0].mean()
```

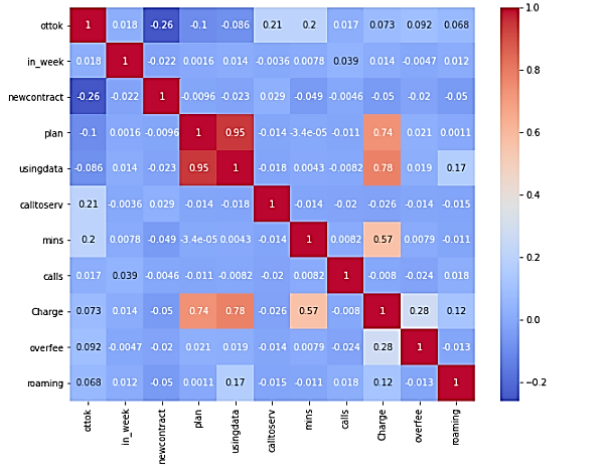
```
ottok           0.000000
in_week       100.749734
newcontract     0.935484
plan            0.295640
usingdata       0.862382
calltoserv      1.447005
mins          175.217689
calls         100.250620
Charge         55.828004
overfee         9.955909
roaming        10.149486
dtype: float64
```

Сурет 8 – Клиенттердің кетуі жоқ болғандағы орташа мән

Корреляциялық матрицаның нәтижесі басты атрибуттар арасындағы байланысты көрсетеді. Біздегі басты болжанатын баған «клиенттердің кету саны» болғандықтан осы «ottok» бағаны мен басқа бағандар арасындағы тәуелділікті анықтап зерттейміз. 10-сурет тарифтік жоспар мен төлем арасындағы және төлем мен мобильдік мәліметтер арасындағы байланыстың күштілігін көрсетеді.


```
ax = plt.figure(figsize=(10,8))
sns.heatmap(data.corr(),annot=True,cmap="coolwarm")

plt.show()
```

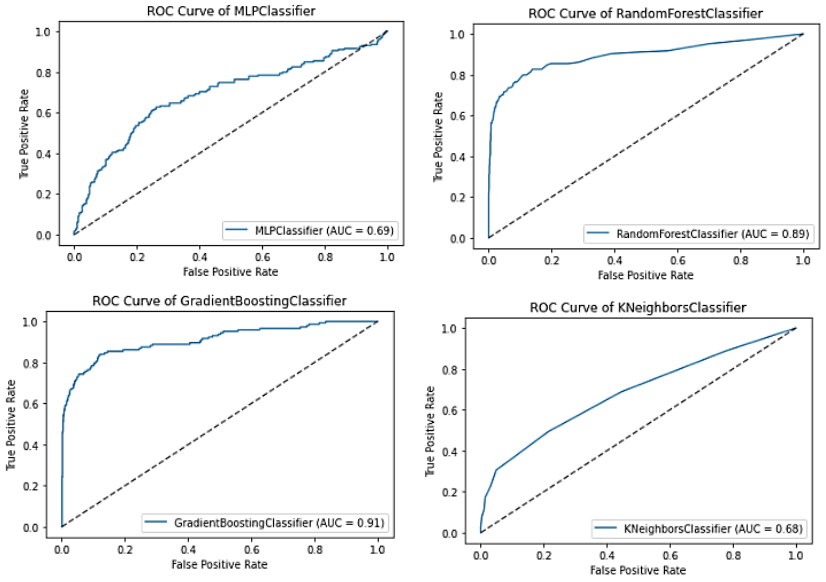


Сурет 9 – Корреляциялық матрица

Программа барысында мәліметтерді оқыту және тестілеу топтарына бөлгеніміз келтірілген. X_train таңдамасына болжам жасалатын «ottok» – клиенттердің кету саны алынды. Біздің моделдеудегі басты көздейтін мәніміз осы баған болып табылады. Жұмыс барысында бірнеше классификаторлар арқылы зерттеу жүргізілді.

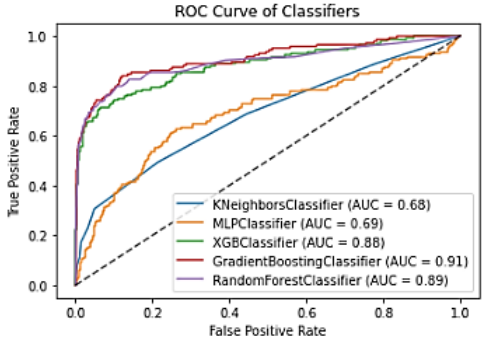
3 Зерттеу нәтижелері мен талдаулар

Бұл мақалада жоғарыда келтілірген алгоритмдердің барлығы қолданылды. Солардың ең қарапайымы: kNN k ең жақын көршіні білдіреді – бұл қарапайым классификация алгоритмдерінің бірі, сонымен қатар кейде регрессиялық талдауда қолданылады.



Сурет 10 – Бірнеше алгоритмнің дәлдік нәтижелері

Талданып отырған ROC қисығы пайдалы құрал болып табылады, себебі әр түрлі модельдердің қисықтарын тұтасымен немесе әр түрлі шектермен тікелей салыстыруға мүмкіндік береді. Қисық астындағы аймақ (AUC) модель шеберлігінің қысқаша мазмұны ретінде қолданыла алады. Қисық пішіні көптеген ақпараттарды қамтиды. Графиктің х осіндегі кішігірім мәндер жалған позитивтердің аздығын және шынайы негативтердің жоғарылауын көрсетеді.



Сурет 11 – Жалпылама алгоритмдердің графиктері

Ал, графиктің у осіндегі үлкен мәндер үлкен шынайы позитивтер мен төменгі жалған негативтерді көрсетеді. GB классификаторының дәлдігі басқаларымен салыстырғанда жоғары екенін көрсетілген (AUC=0.91).

	Model Name	CVS
0	KNeighborsClassifier	0.870872
1	MLPClassifier	0.861776
2	RandomForestClassifier	0.934529
3	GradientBoostingClassifier	0.933317
4	XGBClassifier	0.931194

Сурет 12

Жалпы, қолданылған 5-алгоритмді салыстыру барысында «Кездейсоқ орман» классификаторының мәні басқалардан жоғары екенін, қолдану тиімділігін шығарды.

Қорытынды

Жұмыс барысында жетілдірілген аналитикаға шағын шолу жасалып, машиналық оқытудың басты алгоритмдері: KNN, MLP, RFC, Gradient Boosting, XGB классификаторларын қолданылып, кросс-валидация арқылы нәтижелер бағаланды. Жалпы, қолданылған 5-алгоритмді салыстыру барысында «Кездейсоқ орман» классификаторының мәні басқалардан жоғары екенін, қолдану тиімділігін көрсетті. Jupyter Notebook интерактивті орасының статистикалық мәліметтермен жұмыс істеудің барлық мүмкіндіктерін қолдануға тырыстық. Ары қарай тәжірибе нәтижесінде талданып отырған аралықта клиенттердің болжамды кету мөлшері 1-ге тең мән алынды. Ол ұзақ мерзімді қолданыста жүрген мобильді операторды тұтынушылар сирек ауыстыратынын білдіреді. Зерттеу барысындағы алгоритмдер мен әдістерді кез келген саладағы клиенттер ағынын болжауға қолдануға болады. Бұл жердегі басты қиыншылық Отандық компаниялар бойынша статистикалық мәліметтердің жеткілікті түрде болмауы.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Aggarwal, P. P. and M. Zhao.** (2015), 'Seeing the big picture: Effect of height on the level of construal', Journal of Marketing Research, 52(1): 120–133.

2 **Brasel, S. A. and J. Gips.** (2014), 'Tablets, touchscreens, and touchpads: How varying touch interfaces trigger psychological ownership and endowment', Journal of Consumer Psychology, 24(2): 226–233.

3 **Brennan, L., W. Binney, L. Parker, T. Aleti and D. Nguyen.** (2014), 'Rational economic models (cognitive models)', in L. Brennan, W. Binney,

L. Parker, T. Aleti, and Dang Nguyen (eds), Social marketing and behaviour change: Models, theory and applications, Cheltenham, UK: Edward Elgar, 17–37.

4 **Castelo, N., E. Hardy, J. House, N. Mazar, C. Tsai, and M. Zhao.** (2015), 'Moving citizens online: Salience and framing as motivators for behavioral change', Journal of Behavioral Science and Policy, 1(2): 57–68.

5 **Chae, B. and R. Zhu.** (2014), 'Environmental disorder leads to self-regulatory failure', Journal of Consumer Research, 40(6): 1203–1218.

6 **Hirschman, E. C. et Holbrook, M. B.** Hedonic consumption: emerging concepts, methods and propositions. // Journal of Marketing. – 1982. – Vol. 46. – P. 92–101.

7 **Lehner, M. O.** Mont and E. Heiskanen (2016), 'Nudging – A promising tool for sustainable consumption behaviour?' Journal of Cleaner Production, 134(Part A): 166–177.

8 **Oehler, A. and S. Wendt.** (2017), 'Good consumer information: The Information Paradigm at its (dead) end?' Journal of Consumer Policy, 40: 179–191.

9 **Oliver, A.** (2017), The origins of behavioural public policy, Cambridge: Cambridge University Press. Prelec, D. and G. Loewenstein (1998), 'The red and the black: Mental accounting of savings and debt', Marketing Science, 17(1): 4–28.

10 **Reisch, L. A. and C. R. Sunstein.** (2016), 'Do Europeans like nudges?', Judgment and Decision Making, 1(4): 310–325.

11 **Reisch, L. A. and C. R. Sunstein.** (2015), 'Behavioural economics and consumption', in D. T. Cook and J. M. Ryan (eds). The Wiley Blackwell encyclopaedia of consumption and consumer studies, Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 41–42.

12 **Shah, A., N. Eisenkraft, J. R. Bettman and T. L. Chartrand.** (2016), «Paper or plastic?»: How we pay influences post-transaction connection', Journal of Consumer Research, 42(5): 688–708.

13 **Sunstein, C. R. and L. A. Reisch.** (2017), 'Introduction: The economics of nudge', in C. R. Sunstein and L. A. Reisch (eds), The economics of nudge, 4 Volumes. Routledge Series «Critical Concepts in Economics», New York, NY: Routledge, 1–12.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

С. З. Сапакова[1, 2], Ж. Е. Мукашев[2], Н. Сыдыкова[2], Е. Б. Алип[2]

Использование алгоритмов машинного обучения для прогнозирования потока клиентов

[1]Международный университет информационных технологий,
Республика Казахстан, г. Алматы;
[2]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

S. Sapakova[1, 2], Zh. E. Mukashev[2], N. Sydykov[2], E. B. Alip[2]

Using machine learning algorithms to predicting customer flow

[1]International University of Information Technologies,
Republic of Kazakhstan, Almaty;
[2]Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 19.03.21.

В данной статье рассматривается проблема прогнозирования потока клиентов с помощью алгоритмов машинного обучения, что является ключевым компонентом расширенной аналитики. В ходе работы был сделан краткий обзор расширенной аналитики, результаты оценивались методом кросс-валидации с использованием основных алгоритмов машинного обучения: KNN, MLP, RFC, Gradient Boosting, классификаторы XGB. Многие компании сейчас используют специальную аналитику, чтобы удерживать своих постоянных клиентов, сохраняя при этом свои позиции в конкурентной среде. Хорошо известно, что приглашение нового клиента с помощью маркетинговых инструментов обходится компаниям намного дороже, чем удержание существующего клиента. В ходе работы были рассмотрены и проанализированы данные, касающиеся работы компании, которая стремится увеличивать свою абонентскую базу за счет развития телекоммуникационной отрасли. В предлагаемой работе мы использовали алгоритмы машинного обучения, чтобы понять поведение потребителей в сфере телекоммуникаций и, в свою очередь, спрогнозировать число оттока клиентов из компании.

Ключевые слова: машинное обучение, алгоритмы, методы, корреляционная матрица, расширенная аналитика, потребитель, прогнозирование.

This article discusses the problem of predicting customer flow using machine learning algorithms, which is a key component of advanced analytics. In the course of the work, a brief overview of advanced analytics was made, the results were evaluated by the cross-validation method using the main machine learning algorithms: KNN, MLP, RFC, Gradient Boosting, XGB classifiers. Many companies are now using ad-hoc analytics to retain their loyal customers while maintaining their competitive edge. It is well known that inviting a new customer through marketing tools costs companies a lot more than keeping an existing customer. In the course of the work, data related to the work of the company, which seeks to increase its subscriber base through the development of the telecommunications industry, was reviewed and analyzed. In this paper, we used machine learning algorithms to understand consumer behavior in telecommunications and, in turn, predict the number of customer churn from the company.

Keywords: machine learning, algorithms, methods, correlation matrix, advanced analytics, consumer, forecasting.

МРНТИ 50.49.37

https://doi.org/10.48081/PCBP1310

Н. П. Сапарходжаев, А. С. Баймаханова,
Б. К. Жусипбек, К. Уразалиев
Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави,
Республика Казахстан, г. Туркестан

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ПРЕДПРИЯТИИ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ

В данном исследовании была разработана информационная система для управления потоками электронных чертежей и преобразования этих цифровых данных в нужный формат. Использованы цифровые технологии в устройстве роста эффективности деятельности организации напрямую зависящее от применения оптимального планирования взаимодействия внутри предприятия этих технологии. Подробно обсуждены архитектуры программного обеспечения в основной части этой исследовательской работ. «Кентауский трансформаторный завод» использует программное обеспечение Ascon Group – Kompas 3D для электронных чертежей. Показаны гибкая система 3D-моделирования Kompas-3D, которая позволяет создавать модели несколькими способами. Показаны архитектура программного обеспечения КТЗ. Были спроектирована эффективная архитектура взаимодействия программного обеспечения и сетевых технологий, которые приводят к снижению финансовых затрат предприятия. Также повышает пропускную способность деятельности организации при обмене данными непосредственно между сотрудниками данного предприятия. Были разработаны приложения, которые предназначены в организации тесного взаимодействия и извлечения выгоды между пользователем и цифровых технологий, которые в свою очередь приводят к повышению эффективности деятельности предприятия. Приведены показатели экономической эффективности разработанной системы затрат на примере Кентауского трансформаторного завода. Усовершенствованы документооборотные потребности различных организаций использования спроектированной системы

для централизованной системы управления электронными потоками чертежей.

Ключевые слова: инфраструктура, предприятие, программное обеспечение, Кентауский трансформаторный завод, 3D-моделирования Kompas-3D, электронные чертежи.

Введение

В современном мире цифровые инфраструктуры позволяют предоставлять информационные услуги во многих областях, обеспечивая социально-техническую основу для управления партнерскими отношениями, повторного использования ресурсов и системной интеграции [1].

На сегодняшний день можно с уверенностью утверждать, что оцифровка повышает эффективность операционной деятельности в компании, и она может быть значительно повышена за счет автоматизации бизнес-процессов [2]. Использование цифровых технологии в устройстве роста эффективности деятельности организации напрямую зависит от применения оптимального планирования взаимодействия внутри предприятия этих технологии. Планирование на предприятиях – это определение целей предприятия и ожидание действий, необходимых для достижения этих целей, а также планирование ресурсов можно рассматривать как координацию человеческих экспертов, материалов, технологий, операций и заказов, которые должны быть выполнены с конечной целью настройки их работы [3]. Авторы исследования [4] убеждены, что промышленная кластеризация способствует технологическим инновациям благодаря взаимодействию двух направлений. Это, преимущества специализации и диверсификации в областях промышленного кластера способствуют производству технологических инноваций, а также, поток больших объемов знаний, человеческих ресурсов и информации в промышленных кластерных областях формируют знания, технологии и способствуют распространению технологических инноваций. Тем самым повышая эффективность в организации деятельности предприятия.

Таким образом, авторы утверждают, появление новых услуг вычислительных парадигм, таких как облачные вычисления, больших данных и бизнес-аналитики, ИТ-служба получила повышенное внимание и считается источником конкурентного преимущества во многих ситуациях бизнеса [5]. В наше время практически все заводы по всему миру работают с техническими чертежами, но большинство из них не могут вовремя интегрировать прогресс в информационные технологии, это означает, что некоторые из них все еще используют технические чертежи в бумажном виде. Однако сохранение и использование технических чертежей в бумажном виде имеет свои недостатки. Исследователи отмечают, что высокая производительность

предприятия в основном степени зависит от правильной организации [6]. Во избежание ошибок приводящих к снижению эффективности в данной исследуемой работе их можно перечислить, а также убедиться, что они должны быть немедленно заменены на электронные:

1 Требуется не меньше средств, чтобы хранить их в бумажном виде.

2 Требуется много времени для сбора подписей ответственных людей.

3 Рисунки в бумажной форме требуют места и много времени для поиска нужных чертежей.

4 Бумажные чертежи подвержены повреждениям, что требует не меньше времени на восстановление.

Существует очень много программ, направленных на решение этой проблемы. Но когда компании требуются дополнительные функции или изменения в соответствии с ее бизнес-процессом и иерархией, программное обеспечение может не соответствовать ее требованиям. В этой исследовательской работе мы обсудим программное обеспечение, реализованное для Кентауского трансформаторного завода.

Материалы и методы

Акционерное общество «Кентауский трансформаторный завод» (КТЗ) известно как ведущий казахстанский производитель низковольтных и высоковольтных трансформаторов и электрооборудования широкого применения, поставляемый во все отрасли экономики, включая электроэнергетику, металлургию, машиностроение, транспорт, нефть и газ, а также жилищно-коммунальные хозяйства. Оборудование с маркой «Кентауский трансформаторный завод» надежно работает по всему Содружеству Независимых Государств [7].

КТЗ, как и другие производственные компании или заводы, использует технические чертежи в производстве. Технический чертеж - это средство четкой и краткой передачи всей информации, необходимой для превращения идеи или концепции в реальность. Поэтому технический чертеж часто содержит больше, чем просто графическое представление своего предмета тем самым также содержит размеры, примечания и спецификации. Отличительной чертой хорошего технического рисунка является то, что он содержит всю информацию, необходимую людям для воплощения идеи или концепции в реальность [8]. Работа семинара зависит от технических чертежей, составленных инженерами-строителями, поэтому система управления потоками электронных чертежей должна быть доступна круглосуточно и не иметь уязвимостей, что приведет к задержке в работе системы. В случае задержки в производстве это может привести к потере потенциального клиента или может повлечь за собой штрафные санкции из-за задержки. Оптимальная работа системы управления потоками

электронных чертежей зависит от архитектуры и иерархии организации и архитектуры программного обеспечения. Мы подробно обсудим архитектуру программного обеспечения в основной части этой исследовательской работы. Основная часть: КТЗ использует программное обеспечение Ascon Group - Kompas 3D для электронных чертежей [9]. Kompas-3D – это гибкая система 3D-моделирования, которая позволяет создавать модели несколькими способами, в том числе следующими:

– Восходящее моделирование с использованием готовых компонентов.

– Моделирование сверху вниз путем разработки компонентов, соответствующих конкретным конструкциям.

– Моделирование на основе макетов чертежей, таких как кинематические диаграммы или любую комбинацию этих методов моделирования.

На сегодняшний день технические чертежи в программном обеспечении Kompas 3D имеют формат .cdw. После рассмотрения архитектуры КТЗ мы сделали следующую архитектуру, как показано на рисунке 1.

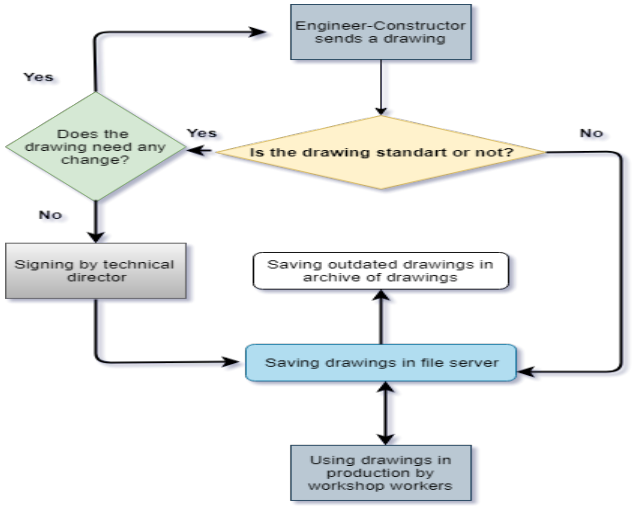


Рисунок 1 – Архитектура программного обеспечения

Как можно увидеть, на рисунке 1 приведена схема взаимодействия всех компонентов. Поток начинается, когда инженер-конструктор отправляет чертеж.

Результаты и обсуждение

Традиционно вычислительные системы основывались на локальной среде с использованием персонального компьютера и другого специального оборудования для обработки и хранения информации [10]. Для построения

этой системы нам нужно создать 2 приложения: основное (клиентское приложение) – для клиентов (инженеры-конструкторы, рабочие цеха и т. д.) И вспомогательное (приложение конвертера) – для сервера (преобразование чертежей в удобный для использования формат). Функция клиентского приложения - обмен файлами в режиме реального времени между инженерами-конструкторами и работниками цеха; Функция конвертера заключается в преобразовании чертежей в формате .cdw в формат .pdf и сохранении их в папке назначения для рабочих цехов. Хранение оригинальных чертежей и преобразованных файлов в 2 папках позволяет нам защитить оригинальные чертежи от редактирования другими пользователями.

Диаграмма вариантов использования пользователей показана на рисунке 2.

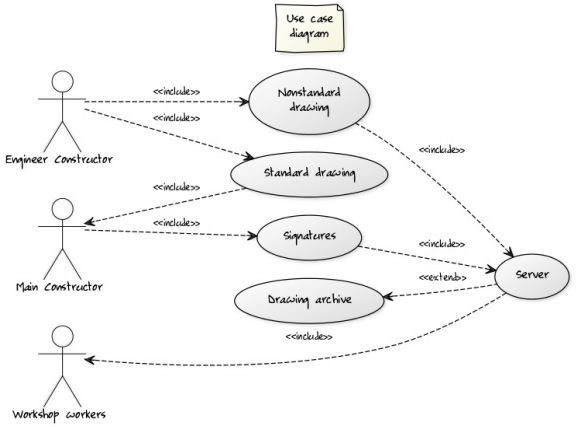


Рисунок 2 – Диаграмма прецедентов пользователей и системы. Все 3 типа пользователей и их взаимодействие с системой видно из диаграммы

Следующая проблема, с которой столкнулись авторы при разработке приложения, заключается в том, что нет сторонней библиотеки для преобразования чертежей, поскольку расширение принадлежит программному обеспечению Kompas 3D. Таким образом, проблема была решена с помощью Kompas 3D API, предоставленного Ascon Group. Интерфейс прикладного программирования (API) – это набор процедур, протоколов и инструментов для создания программных приложений [11]. Разработанная на основе интерфейса прикладного программирования (API) системы Kompas -3D приложение состоит из прикладной библиотеки [12]. В общих чертах, это набор четко определенных методов общения между различными

компонентами. Вот часть кода приложения конвертера, которая преобразует электронный чертеж:

```
string progid = «KOMPAS.Application.5»;
string input = “DrawingName.cdw”;    //Name of Drawing
string output = DestinationPath + Path.GetFileNameWithoutExtension(inp
ut) + “.pdf”;
Type t = Type.GetTypeFromProgID(progid);
kompas = (KompasObject)Activator.CreateInstance(t); //New instance of
a Kompas
                                                    //application created
mycomp = kompas.ksGetApplication7();
converter = mycomp.get_Converter(Pdf2dLibraryPath);  //Path of Pdf2d.dll
converter.Convert(input, output, 1, false);
```

Как мы видим, приведенный выше код может быть переписан для удовлетворения различных требований. Для выполнения системы использовался также продукт Microsoft – SQL Server 2008 Express edition [13]. SQL Server 2008 Express – это бесплатная версия SQL Server, которая является идеальной платформой данных для изучения и создания настольных и небольших серверных приложений, а также для распространения среди независимых поставщиков программного обеспечения [14]. Как следует из названия, мы строим локальный сервер, используя его. Сервер сохраняет данные клиентов, такие как данные профиля, данные чертежей и т. д. Причина, по которой мы предпочли локальный сервер, а не облачный сервер, заключается в том, что локальный сервер работает быстрее и безопаснее, что важно в нашем случае. Авторы данного исследования [15] утверждают, что данные могут хранится и извлекаться как удаленного сервера так и с облака. Ниже можно увидеть скриншоты финального проекта от разных типов пользователей:

Процесс отправки файла чертежа на сервер подробно демонстрируется на рисунке 3, где все снимки были получены с разрешения КТЗ.

Как можно увидеть, на рисунке 4 процесс изменения информации учетной записи и пароля достаточно точно показаны, также все снимки были получены с разрешения КТЗ.

Информация о финансировании. Первоначальной целью в организации деятельности предприятия является экономическая эффективность всех компонентов в системе, чтобы снизить финансовые расходы, а также в помощи лицам принимающим решения, в их сложной задаче распределения финансовых средств.

Авторы предполагают, что экономическая эффективность является основным качественным фактором экономического роста, поскольку

обеспечивает абсолютный рост результатов при той же величине усилий. Тем самым можем утверждать, что экономическая эффективность включает в себя рентабельность, которая на самом деле является общим показателем эффективности [16].

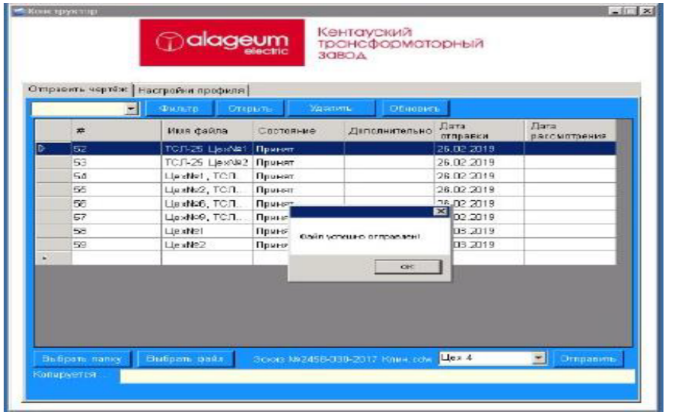


Рисунок 3 – Снимок экрана из используемого приложения инженера-конструктора

Рисунок 4 – Снимок экрана из используемого приложения инженера-конструктора

Экономическую эффективность разработанной системы можно увидеть из следующей таблицы затрат на примере Кентауского трансформаторного завода. Все показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экономическую эффективность разработанной системы

№	Название затраты	Цена затрат (в тенге)	Количество, старое (в месяц)	Количество, новое (в месяц)	Разница затрат в тенге
1	Оплата работнику за документооборот	80 000	1	0	80 000
2	Принтеры для печати чертежей	30 000	5	0	150 000
3	Бумага для печати чертежей	2 000	5	1	8 000
4	Заправка картриджей	2 000	5	1	8 000
	Общая сумма сэкономленных средств				246 000

Исходя из таблицы можно отметить, что финансовые затраты были снижены и в дальнейшем финансовые потери не будут увеличиваться.

Выводы

В результате проведенных экспериментов авторы изучили применение современных информационных технологий в сфере улучшения деятельности предприятия на примере КТЗ. Анализируя полученные результаты, авторы пришли к единому мнению, что использование сетевых технологии и применение программных утилит для преобразования электронных чертежей, схем, рисунков, а также их хранение в едином банке хранилища позволит снизить финансовые затраты предприятия.

Подытожив полученные результаты, можно прийти к заключению, что разработка и применение в производстве новой системы управления потоком электронных чертежей, где были использованы преимущества различных аналогов программных обеспечении и добавив некоторые дополнительные функции, позволили повысить эффективность работы системы и клиентов. Спроектированная система может быть без затруднений переписана для удовлетворения потребностей различных организаций, которым требуется централизованная система управления электронными потоками чертежей. Авторы хотят выразить благодарность руководству в лице Кожабаева Х.Б., Председателя Правления АО «КТЗ» за оказанное содействие и поддержку во время разработки системы. Данное исследование проводилось при финансовой поддержке КТЗ.

Список использованных источников

1 **Koutsikouri, D., Lindgren, R., Henfridsson, O., Rudmark, D**.: Extending digital infrastructures: a typology of growth tactics. J. Assoc. Inf. Syst. – 2018. – P. 1001–1019.

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 Lecture Notes in Networks and Systems. – 2020, vol 78. – P. 78–99.

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. – P. 69–85.

4 **Liu J., Cheng Z., Zhong, N.** Development of China's Manufacturing Sector: Industry Research. A Research Report on the Development of China's Manufacturing Sector. – 2017. – P. 171–311. DOI: 10.1007/978-981-10-4445-8_5.

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. – P. 43–53. 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. Practicing Enterprise Governance and Enterprise Engineering. The Enterprise Engineering Series. Springer, Cham. – 2018. – P. 1–82. DOI: 10.1007/978-3-319-73658-7_1.

7 Official website of Kentau Transformer Plant. Retrieved from: [Electronic resource]. **A.** 2018. – URL: http://ae-ktz.kz.

8 **David, L., Goetsch, William, Chalk, John, Nelson, A.** Technical Drawing. By Delmar Publishers Ascon group. Retrieved from: [Electronic resource]. Retrieved from: – 2000. – URL: 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. Research Advances in Cloud Computing. Springer,Singapore. Retrieved from: [Electronic resource]. – 2017. – URL:http://dblp.uni- trier.de/db/books/collections/CSB2017. html# Bermejo FJGG17.

11 **Vangie Beal.** Retrieved from: [Electronic resource]. – 2018. – URL: https://www.webopedia.com/TERM/A/API.html.

12 **Shchekin, A.V., Sul'din, S.P. & Mitin, E.V. Russ, Engin. Res.** Retrieved from: [Electronic resource]. – 2017. – URL: https://doi.org/10.3103/S1068798X17110156.

13 Official website of Microsoft. Retrieved from: [Electronic resource]. – 2018. – URL: https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=25052.

14 Official website of Microsoft. Retrieved from: [Electronic resource]. – 2018. – URL: https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=1695.

15 **Ross, D. F.** Information Technology and Supply Chain Management. Distribution Planning and Control. Springer, New York, NY. – 2015. – P. 827-886. doi: 10.1007/978-1-4899-7578-2_15.

16 **Geamanu, Marinela.** Economic efficiency and profitability. Studia Universitatis Vasile Goldis Arad, Seria Stiinte Economice. – 2011. – P. 116–119.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Н. П. Сапарходжаев, А. С. Баймаханова,
Б. К. Жусипбек, К. Уразалиев

Орталықтандырылған бақылау негізінде кәсіпорында құжат айналымын жақсарту

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Қазақстан Республикасы, Туркестан қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

N. P. Saparkhojayev , A. S. Baimakhanova,
B. K. Zhussipbek, K. Urazaliyev

Improvement of document turnover at the enterprise on the basis of centralized control

International Kazakh-Turkish University named after K. A.Yasawi,
Republic of Kazakhstan, Turkestan.
Material received on 19.03.21.

Бұл зерттеуде электрондық сызбалардың ағымын басқару және осы сандық деректерді қажетті форматқа айналдыру үшін ақпараттық жүйе жасалады. Ұйымның тиімділігін арттыру үшін құрылғыда цифрлық технологиялар қолданылады, бұл тікелей осы технологиялардың кәсіпорын ішіндегі өзара әрекеттесуін оңтайлы жоспарлауды қолдануға байланысты. Бағдарламалық жасақтаманың архитектурасы осы ғылыми жұмыстың негізгі бөлімінде егжей-тегжейлі қарастырылған. Кентау трансформатор зауыты Ascon Group бағдарламалық жасақтамасын – Kompas 3D электронды сызбалар үшін қолданады. Компас-3D икемді 3D модельдеу жүйесі көрсетілген, бұл модельдерді бірнеше жолмен жасауға мүмкіндік береді. КТЗ бағдарламалық жасақтамасының архитектурасы көрсетілген. Бағдарламалық және желілік технологиялардың өзара әрекеттесуінің тиімді архитектурасы жасалды, бұл кәсіпорынның қаржылық шығындарының төмендеуіне әкеледі. Сондай-ақ, бұл белгілі бір кәсіпорынның қызметкерлері арасында деректермен алмасу кезінде ұйым қызметінің өнімділігін арттырады. Қолданушы мен цифрлық технологиялар арасындағы өзара әрекеттестік пен пайда жасауға бағытталған, бұл өз кезегінде кәсіпорын тиімділігінің артуына әкелетін қосымшалар әзірленді. Дамыған шығындар жүйесінің экономикалық тиімділігінің көрсеткіштері Кентау трансформатор зауыты мысалында келтірілген. Сызбалардың электрондық ағындарын басқарудың орталықтандырылған жүйесі үшін жобаланған жүйені пайдалану үшін әр түрлі ұйымдардың құжат айналымы қажеттілігі жетілдірілді.

Кілтті сөздер: инфрақұрылым, кәсіпорын, бағдарламалық жасақтама, Кентау трансформатор зауыты, Kompas-3D 3D модельдеу, электрондық сызбалар.

In this study, an information system was developed to manage the flow of electronic drawings and transform this digital data into the desired format. Digital technologies are used in the device for increasing the efficiency of the organization, which directly depends on the use of optimal planning of interaction within the enterprise of these technologies. Software architectures are discussed in detail in the main body of this research paper. Kentau Transformer Plant uses Ascon Group's software – Kompas 3D for electronic drawings. The flexible 3D-modeling system Kompas-3D is shown, which allows you to create models in several ways. The architecture of the KTP software is shown. An effective architecture for the interaction of software and network technologies was designed, which leads to a decrease in the financial costs of the enterprise. It also increases the throughput of an organization's activities when exchanging data directly between employees of a given enterprise. Applications have been developed that are designed to create close interaction and benefit between the user and digital technologies, which in turn lead to increased efficiency of the enterprise. The indicators of the economic efficiency of the developed cost system are given on the example of the Kentau transformer plant. The paperwork needs of various organizations for using the designed system for a centralized system for managing electronic flows of drawings have been improved.

Keywords: infrastructure, enterprise, software, Kentau transformer plant, Kompas-3D 3D modeling, electronic drawings.

МРНТИ 621.394/.396

https://doi.org/10.48081/HFIV6332

***А. А. Темирбекова, Э. М. Лещинская**

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО КОНТАКТ-ЦЕНТРА

Выполнен сравнительный анализ различных моделей построения контакт-центров с использованием методов имитационного моделирования. Выбран оптимальный вариант создания контакт-центра, направленный на снижение вероятности отказа в обслуживании, сокращение среднего времени обслуживания и ожидания в очереди. Построение имитационных моделей проводилось в среде GPSS WORLD. Контакт-центр рассматривался в виде n-канальной системы массового обслуживания с простейшими потоками и неограниченной очередью (M/M/n). Для повышения пропускной способности центра предложено в периоды наибольшей нагрузки увеличивать число работающих операторов за счет интеллектуальной маршрутизации вызовов в контакт-центре и использования резервной группы операторов.

Показано, что своевременные решения в организации работы, предусматривающие мониторинг и анализ поступающей нагрузки, оперативное управление текущей деятельностью контакт-центра, наличие резервной группы операторов, обеспечивают улучшение качества обслуживания клиентов.

Ключевые слова: контакт-центр, резервная группа, моделирование, прогнозирование, качество обслуживания.

Введение

В настоящее время широкое распространение получают контакт-центры – информационные системы, способные взаимодействовать с различными телекоммуникационными средствами. Современный контакт-центр – это стркутура с отлаженной системой управления потоками трафика.

Перспективным направлением считается развертывание контакт-центров с привлечением решений информационных технологий IP и Ethernet как на участке доступа к ресурсам систем, так и для оснащения мест для работы операторов [1].

Важную роль в организации работы контакт-центра играет стратегический анализ. Он помогает выявить загруженность операторов, своевременно оценить обстановку и принять надлежащие меры. В стратегическом анализе деятельности контакт-центра исследуются такие показатели, как суммарное количество поступающих звонков, количество обработанных звонков, количество операторов контакт-центра, которые обрабатывают обращения одновременно, а также показатель длительности звонков.

Целью настоящей работы является улучшение основных показателей работы контакт-центра, снижение вероятности отказа в обслуживании, средней продолжительности обслуживания и времени ожидания в очереди на основе моделирования динамики поступающей нагрузки и оптимизации структуры построения контакт-центра.

Методы

При осуществлении стратегического анализа работы контакт-центра, получили распространение методы имитационного моделирования, современные методы статистического анализа.

Создание контакт-центра подразумевает вероятность одновременного поступления большого количества вызовов. Как правило, контакт-центр функционирует как система обслуживания с ожиданием, что помогает исключить потерю важных вызовов, которые поступают от потенциальных и реальных клиентов. Однако не исключена вероятность того, что при поступлении очередного вызова все операторы окажутся занятыми и вызов будет поставлен в очередь на ожидание ответа оператора [2,3].

В крупных контакт - центрах длина очереди к операторской системе может достигать десятка тысяч вызовов. Могут быть реализованы различные алгоритмы распределения вызовов в очереди и перевода вызовов между очередями на основании текущих статистических данных по контакт-центру и каждой из очередей. Маршрутизация может применяться к любому каналу контакт-центра, включая голосовые вызовы, чат и электронную почту. Алгоритм маршрутизации регулируется набором бизнес-правил, которые позволяют учесть различные атрибуты клиента [4]. Они часто включают в себя намерения клиента, историю взаимодействия, тип носителя, время в очереди и многое другое.

Создать условия для эффективной работы контакт - центра и высокого уровня качества обслуживания абонентов позволит соблюдение требований, представленных в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Характеристики работы контакт-центра

Характеристика	Нормы
Среднее время ожидания ответа	80–90 % вызовов будут ожидать в пределах 20 секунд
Среднее время разговора	От 20 секунд до 6 минут (в зависимости от характера обращения)
Промежуток времени между поступающими вызовами	20–30 секунд
Занятость операторов	65–75 %
Среднее число вызовов в час на одного оператора	От 5 до 18
Незавершенные вызовы	2–5%
Потерянные вызовы	Не более 2 %

Для оценки объема обращений и отслеживания изменений их динамики в течение заданного промежутка времени прежде всего необходим анализ нагрузки на контакт-центр, что стратегически определяет его дальнейшее развитие [5–8]. При этом используются методы статистического анализа.

При исследовании деятельности контакт-центра наиболее информативны графики с динамикой по времени, акцентирующие внимание на проблемных зонах и пиковых нагрузках. На рисунке 1 представлены временные ряды, описывающие динамику числа поступивших и обработанных вызовов в подлежащем исследованию контакт-центре.

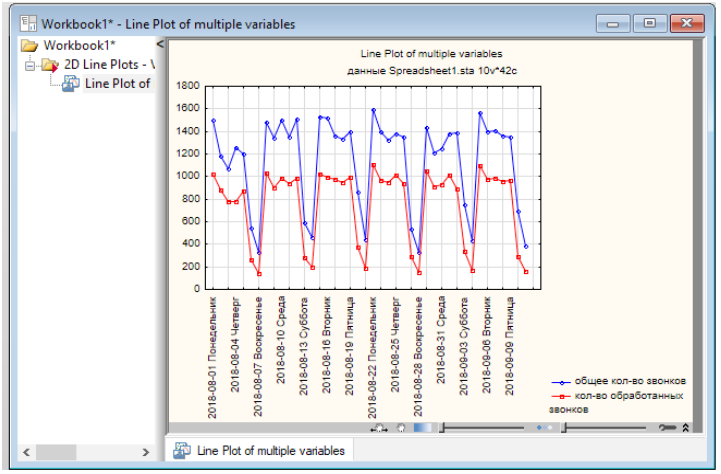


Рисунок 1 – Динамика поступивших и обработанных вызовов

Результаты и обсуждение

Анализ основных статистических характеристик числа вызовов показал, что обрабатывается примерно 66 % от поступившего числа вызовов. Наблюдается высокая колеблемость числа вызовов (коэффициент вариации составил 36,2 %).

Отмечается повторение цикла нагрузки каждую неделю. Наибольшая нагрузка наблюдается в понедельник, наименьшая – в субботу и в воскресенье. Временной ряд содержит сезонную компоненту [6]. Для выделения сезонной составляющей использовались такие методы как исчисление индексов сезонности и сезонная декомпозиция временного ряда. Статистический анализ поступающей нагрузки позволил рассчитать ее прогнозные значения на предстоящие периоды работы.

Для анализа принципа работы и организации обслуживания вызовов в контакт-центре были использованы возможности имитационного моделирования в среде GPSS [9].

Исследование структур построения контакт-центра проводилось на примере центра с 12 операторами. В проведенном эксперименте было принято, что интервалы времени между поступающими в систему вызовами распределены по экспоненциальному закону со средним значением 12 секунд, а продолжительность обслуживания заявки имеет экспоненциальное распределение и составляет в среднем 2 минуты.

На рисунке 2 представлена блок-схема программы функционирования такого контакт-центра (Модель 1).

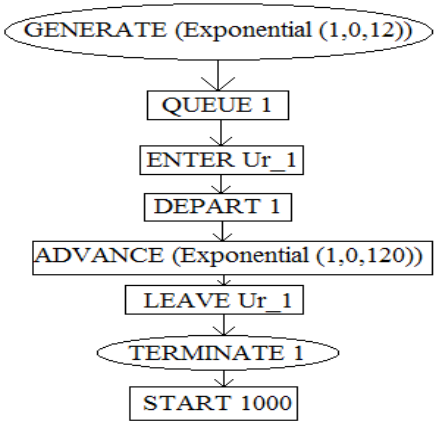


Рисунок 2 – Блок-схема программы (Модель 1)

Для улучшения качества обслуживания клиентов, в среде GPSS разработана еще одна модель контакт-центра, в которую включена резервная группа операторов (8 человек), сформированная из числа сотрудников центра (Модель 2). При возникновении вероятности перегрузки часть вызовов переводится на рабочие места операторов резервной группы [5, 10–13]. На рисунке 3 представлена схема организации контакт-центра с резервной группой операторов, а на рисунке 4 приведена блок - схема программы моделирования его работы.

Рисунок 3 – Схема организации контакт-центра с резервной группой операторов

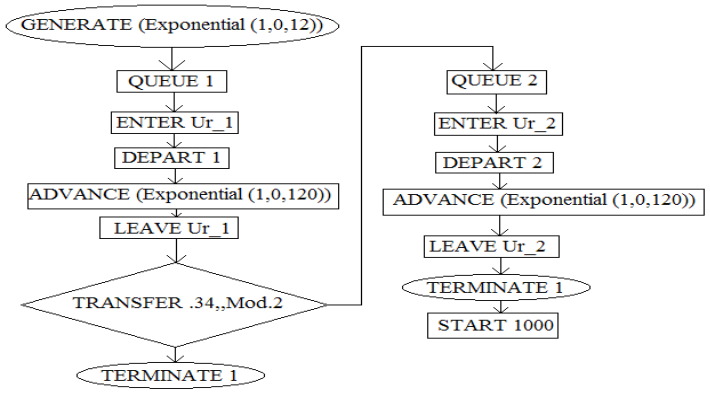


Рисунок 4 – Блок-схема программы (Модель 2)

Для анализа плотностей распределений таких характеристик как длина очереди, время пребывания заявки в очереди и время пребывания в системе для обеих моделей построены соответствующие гистограммы [11–16]. Гистограммы плотностей распределений длины очереди для двух рассматриваемых моделей приведены на рисунках 5 и 6.

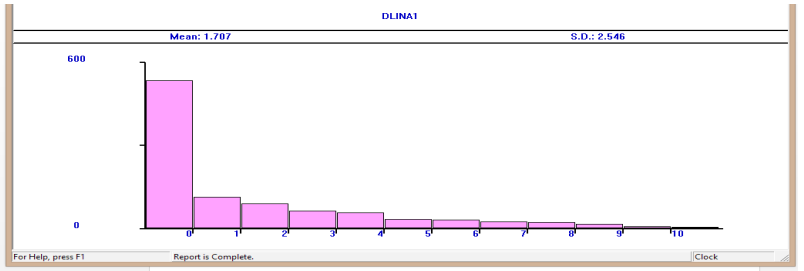


Рисунок 5 – Гистограмма плотностей распределений длины очереди для модели 1

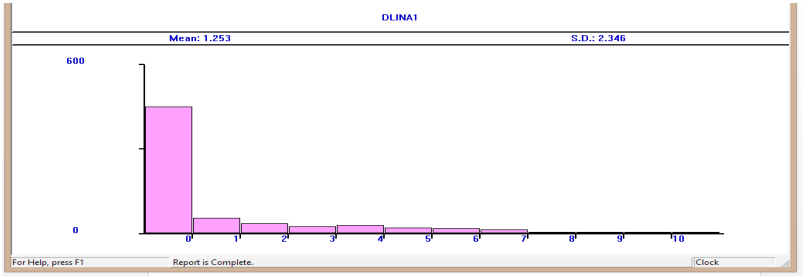


Рисунок 6 – Гистограмма плотностей распределений длины очереди для модели 2

По построенным гистограммам для Модели 1 было выявлено, что средняя длина очереди составляет 1,7 заявок, максимальная длина очереди достигает 9 заявок, среднее время пребывания в очереди 15,34 секунды, а среднее время пребывания в системе 138,546 секунд. Для Модели 2 все указанные характеристики имеют более низкие значения.

Имитационное моделирование позволило выявить явные преимущества в качестве обслуживания вызовов при использовании модели контакт-центра с резервной группой операторов по сравнению с одной основной группой операторов (Таблица 2).

Таблица 2 – Сопоставление показателей качества моделей

Показатели	Математическое ожидание		Среднее квадратическое отклонение	
	Модель1	Модель 2	Модель1	Модель 2
1	2	3	4	5
Средняя длина очереди	1,707	1,253	2,546	2,346
Среднее время пребывания в очереди, с	15,344	10,997	24,560	22,289
Среднее время пребывания в системе, с	138,546	123,907	125,699	110,853

При исследовании влияния продолжительности обслуживания заявки на длину очереди были получены зависимости, приведенные на рисунке 7.

Рисунок 7 – Зависимость длины очереди от времени обслуживания

Сопоставление полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что в контакт-центре с основной группой операторов (Модель 1) очередь резко возрастает, достигнув времени обслуживания в 135 секунд. В контакт-центре с резервной группой операторов (Модель 2) существенные потери вызовов начинают возникать позднее, после достижения времени обслуживания в 145 секунд. При продолжительности обслуживания в 170 секунд длина очереди достигает 125 вызовов для Модели 1, а для Модели 2–101 вызов. При времени обслуживания, близком к среднему значению (120 сек), меньшее число стоящих в очереди вызовов обеспечивает, безусловно, контакт-центр с резервной группой операторов.

Выводы

Стратегический анализ функционирования контакт-центра показал, что для повышения эффективности его работы следует прогнозировать трафик с учетом неравномерности поступающей нагрузки по дням недели, рассчитывать ожидаемое число вызовов в дни наибольшей нагрузки и

временные характеристики, такие как предполагаемая продолжительность разговора оператора с абонентом или абонента с автоматизированной системой.

Повысить пропускную способность системы операторов в дни наибольшей нагрузки позволяет увеличение количества работающих операторов за счет интеллектуальной маршрутизации вызовов в контакт-центре и использования резервной группы операторов. Маршрутизация вызовов сводит к минимуму вероятность отказов в обслуживании.

Кроме того, использование маршрутизации вызовов значительно улучшает качество обслуживания вызовов, уменьшает длину и время ожидания в очереди в 1,5 раза. Такой метод обслуживания обеспечивает повышение качества предоставляемых услуг.

Список используемой литературы

1 **Глушак, Е. В.** Исследование и разработка математических моделей распределенных центров обслуживания вызовов. – Самара, 2014. –134 с.

2 **Шерстнева, А. А.** Разработка комплекса решений по повышению производительности центров обработки вызовов. – Новосибирск, 2017. – 157 с.

3 **Jim Lundy.** Intelligent Contact Center, The Aragon Research Globe™ for Intelligent Contact Centers, 2020.

4 **Ger Koole.** Call center optimization. – Amsterdam, 2013.

5 **Темирбекова, А. А.** Анализ методов обслуживания вызовов в сервис центрах оператора связи. – Алматы : АУЭС, 2019. – С. 33–45.

6 **Лещинская, Э. М., Туманбаева, К. Х.** Моделирование в телекоммуникациях. Применение пакета STATISTICA при моделировании телекоммуникационных систем : Учебное пособие. – Алматы : АУЭС, 2018. – С. 21–44.

7 **Мочалов, Д. М.** Разработка системы управления качеством инфокоммуникационных услуг оператора связи. – Ставрополь, 2013. – С. 190.

8 Organizing and Managing the Call Center. [Электронный ресурс]. – http://cdn.ttgtmedia.com/searchCRM/downloads/chapter-CRM-6-15.pdf.

9 **Боев, В. Д.** Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World : Учебное пособие. – БХВ-Петербург, 2004.

10 **Чан Туан Минь.** Исследование метода обслуживания вызовов в контакт-центрах. – М., 2012. – С. 123.

11 **Алиева, Т. И.** Основы моделирования дискретных систем. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – С. 293–300.

12 **Белянская, Н. М.** Исследование и разработка алгоритмов мониторинга и анализа качества работы операторов контакт-центра. – Самара, 2012. – С. 146.

13 **Степанов, М. С.** Разработка и анализ обобщённой модели обслуживания вызовов в перспективных контакт-центрах. Москва, 2016. – С. 150.

14 Contact Center Enterprise Solutions Overview. [Электронный ресурс]. – https://www.cisco.com.

15 The Total Economic Impact™ of Cisco Webex Contact Center. [Электронный ресурс]. – https://www.cisco.com.

16 Accelerating the Next Generation Contact Center, Cisco 2020. [Электронный ресурс]. – https://www.cisco.com.

References

1 **Glushak, E. V.** Issledovanie i razrabotka matematicheskih modelej raspredelennyh centrov obsluzhivaniya vyzovov. [Glushak, E. V. Research and development of mathematical models of distributed call service centers] – Samara, 2014. – 134 p.

2 **Sherstneva, A. A.** Razrabotka kompleksa reshenij po povysheniyu proizvoditel'nosti centrov obrabotki vyzovov. [Sherstneva, A. A. Development of a set of solutions to improve the performance of call centers]. – Novosibirsk, 2017. – 157 p.

3 **Jim Lundy.** Intelligent Contact Center, The Aragon Research Globe™ for Intelligent Contact Centers, 2020.

4 **Ger Koole.** Call center optimization. Amsterdam, 2013.

5 **Temirbekova, A. A.** Analiz metodov obsluzhivaniya vyzovov v servis centrah operatora svyazi. [Temirbekova, A. A. Analysis of call service methods in the service centers of the telecom operator]. – Almaty, AUES, 2019. – 76 p.

6 **Leshchinskaya, E. M., Tumanbayeva, K. H.** Modelirovanie v telekommunikaciyah. Primenenie paketa STATISTICA pri modelirovanii telekommunikacionnyh sistem. Uchebnoe posobie. [Leshchinskaya, E. M., Tumanbayeva, K. H. Modeling in telecommunications. Application of the STATISTICA package for modeling telecommunications systems. Training manual]. – Almaty, AUES, 2018. – 80 p.

7 **Mochalov, D. M.** Razrabotka sistemy upravleniya kachestvom infokommunikacionnyh uslug operatora svyazi. [Mochalov, D. M. Development of a quality management system for information and communication services of a telecom operator]. – Stavropol, 2013. – p. 190.

8 Organizing and Managing the Call Center. [Электронный ресурс]. – http://cdn.ttgtmedia.com/searchCRM/downloads/chapter-CRM-6-15.pdf.

9 **Boev, V. D.** Modelirovanie sistem. Instrumental'nye sredstva GPSS World. Uchebnoe posobie. [Boev, V. D. Modeling of systems. GPSS World tools. Textbook]. – BHV-Petersburg, 2004.

10 **Chang Tuan Min** Issledovanie metoda obsluzhivaniya vyzovov v kontakt-centrah. [Chang Tuan Min Research on the method of handling calls in contact centers]. – Moscow, 2012. – p. 123.

11 **Alieva, T. I.** Osnovy modelirovaniya diskretnyh sistem. [Alieva, T. I. Fundamentals of Discrete systems modeling]. – St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2009. – 300 p.

12 **Belyanskaya, N. M.** Issledovanie i razrabotka algoritmov monitoringa i analiza kachestva raboty operatorov kontakt-centra. [Belyanskaya, N. M. Research and development of algorithms for monitoring and analyzing the quality of work of contact center operators]. – Samara, 2012. – p. 146.

13 **Stepanov, M. S.** Razrabotka i analiz obobshchyonnoj modeli obsluzhivaniya vyzovov v perspektivnyh kontakt-centrah. [Stepanov, M. S. Development and analysis of a generalized model of call service in prospective contact centers]. – Moscow, 2016 – p. 150.

14 Contact Center Enterprise Solutions Overview. [Электронный ресурс]. – https://www.cisco.com.

15 The Total Economic Impact™ of Cisco Webex Contact Center. [Электронный ресурс]. – https://www.cisco.com.

16 Accelerating the Next Generation Contact Center, Cisco 2020. [Электронный ресурс]. – https://www.cisco.com.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

А. А. Темирбекова, Э. М. Лещинская

Қазіргі заманғы байланыс орталығының қызметтін стратегиялық талдау

Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы
энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

A. A. Temirbekova, E. M. Lechshinskaya

Strategic analysis of the activities of a modern contact center

Almaty university of power engineering
and telecommunications
named after Gumarbek Daukeev,
Republic of Kazakhstan, Almaty
Material received on 19.03.21.

Имитациялық әдістерді қолдана отырып, байланыс орталықтарын салудың әртүрлі модельдеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Қызмет көрсетуден бас тарту ықтималдығын төмендетуге, қызмет көрсетудің орташа уақытын қысқартуға және кезекте тұруға бағытталған байланыс орталығын құрудың оңтайлы нұсқасы таңдалды. Имитациялық модельдер GPSS WORLD ортасында құрылған. Байланыс орталығы ең қарапайым ағындармен және шексіз кезекпен (M / M / n) n-арналы кезек жүйесі ретінде қарастырылды. Орталықтың қуатын арттыру үшін байланыс орталығындағы қоңырауларды интеллектуалды бағыттау және операторлардың резервтік тобын пайдалану арқылы жоғары жүктеме кезеңдерінде жұмыс істейтін операторлардың санын көбейту ұсынылды.

Кіріс жүктемесіне мониторинг пен талдау жүргізуді, байланыс орталығының ағымдағы қызметін жедел басқаруды, операторлардың резервтік тобының болуын қамтамасыз ететін жұмысты ұйымдастырудағы уақытылы шешімдер тұтынушыларға қызмет көрсету сапасын арттырады.

Кілтті сөздер: байланыс орталығы, резервтік топ, модельдеу, болжау, қызмет сапасы.

A comparative analysis of various models of building contact centers using simulation methods is performed. The optimal option for creating a contact center is selected, which is aimed at reducing the probability of denial of service, reducing the average service time and waiting in the queue. The simulation models were built in the GPSS WORLD environment. The contact center was considered as an n-channel queuing system with the simplest threads and an unlimited queue (M/M/n). To increase the capacity of the center, it is proposed to increase the number of operating operators during the periods of the greatest load due to intelligent call routing in the contact center and the use of a backup group of operators.

It is shown that timely decisions in the organization of work, providing for monitoring and analysis of incoming load, operational management of the current activities of the contact center, the presence of a backup group of operators, provide for improving the quality of customer service.

Keywords: contact center, backup group, modeling, forecasting, service quality.

МРНТИ 44.39.29

https://doi.org/10.48081/QPJQ7153

***К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко**
Омский государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Омск

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ РОССИИ

В работе рассмотрена деятельность России в такой области, как ветроэнергетика. Определенно ее место в современной энергосистеме страны. Выявлено, что зачастую ошибочные представления об эффективности ветроэлектростанций негативно влияют на их внедрение. Представлены постановления и федеральные законы, принятые государством для нормирования деятельности в данной области. На основе изученной литературы, авторами предложен ряд мероприятий, которые, по их мнению, положительно повлияют на развитие ветроэнергетики в России.

Ключевые слова: ветровые электростанции, ветроэнергетический потенциал, возобновляемые источники энергии.

Введение

Развитие промышленности, сельского хозяйства и других отраслей требует качественного и надежного обеспечения электроэнергией. В то же время в нашей стране существующие системы электроснабжения значительно устарели, при их модернизации все чаще обращают внимание на альтернативные способы обеспечения электрической энергией. Альтернативные источники в большинстве случаев подразумевают локальную генерацию, что, несомненно, менее выгодно в сравнении с крупными электростанциями. Тем не менее, стоит учитывать существенные технологические потери электрической энергии, которые возникают при передаче её на большие расстояния. Большая протяжённость и наличие множества элементов в цепи при передаче электроэнергии снижают общую надёжность электроснабжения, а также увеличивают его стоимость.

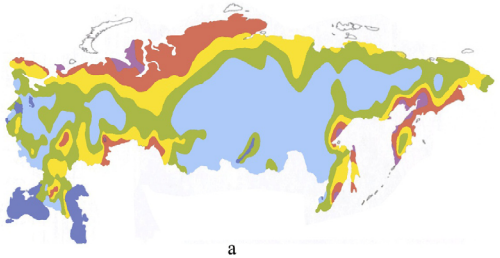
Один из множества возможных способов выхода из данной ситуации – применение собственных систем генерации электрической энергии. К одному из таких видов энергии можно отнести энергию ветра. Как известно ветер

имеет ряд преимуществ, обусловленных его природой: в дневные часы его можно чаще наблюдать, чем в ночные. А в зимнее время года в большинстве регионов сила ветра выше, чем в летний.

Сейчас энергия ветра практически не генерируется в энергосистему России, при этом рынок в области ВИЭ значительно отстает о зарубежных. У нас в стране за последние годы построили лишь несколько ветровых электростанций (ВЭС) с установленной мощностью более 1 МВт. По данным отчета [1], установленная мощность ВЭС на территории России к середине 2016 г. составляет 11 МВт (без учета ветропарков в Крыму). При этом наше государство практически не имеет опыта работы с ВЭС мегаваттного класса. Стоит также обратить внимание, что для большинства из установок требуется капитальный ремонт.

Материалы и методы

Исходя из опыта развития ветроэнергетики в стране стало понятно, что часто ее развитие тормозят неправильные представления о ветроэнергетическом потенциале (ВЭП). Так, согласно [2] характерные значения удельной мощности ветра, рассчитанные по методике WASP, в большинстве регионах России на высоте 50 м не превышают 150–200 Вт/м^2 (рис. 1). Эти данные позволяют говорить об эффективном использовании ВЭУ суммарной установленной мощности не более 4–5 ГВт в основном в районах с малым населением и, соответственно, с трудностями передачи и сбыта электроэнергии. Отсюда, можно сделать выводы о неэффективности использования ВЭС в России. В то же время, в работе [3] расчеты, проводимые по данной методике, подвергаются критике. Они не учитывают таких факторов как: годовые и суточные характеристики ветра; данные ВИК по высотам превышающим 20–30 метров; данные метеорологических и аэрологических станций России и бывшего СССР.



а

	Закрытая местность Sheltered terrain		Открытая местность Open plain		Морской берег Sea coast		Открытое море Open sea		Холмы и горы Hills and ridges	
	m/s	W/m^2	m/s	W/m^2	m/s	W/m^2	m/s	W/m^2	m/s	W/m^2
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

б

Рисунок 1 – Скорости и удельные мощности ветра, рассчитанные по методике WASP для территории России для высоты 50 м.

Распределение по карте (а) и поясняющая таблица (б)

Приведем еще один пример негативного воздействие ошибочных представлений об эффективности повсеместного использования ВЭС. Принятое в 2012 году ПП РФ № 449 по развитию возобновляемых источников энергии в России, в качестве достаточного целевого показателя для ВЭС, которые финансирует государство, обозначен явно заниженный, как показано в работе [3], коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ, равный 27 % (хотя в современных ВЭС он может достигать 35–40 %). В результате такого занижения, расчетная себестоимость электроэнергии будущих российских ветроэлектростанций увеличивается, что повлечет рост тарифов.

Несмотря на это, в последние годы, следуя мировым тенденциям, Правительство РФ произвело первые шаги в направлении ускорения развития ВЭУ и сформулировало роль государства в осуществлении поддержки, которые законодательно закреплены. На основе поправок, внесенных Федеральный закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» от 4.11.2007 г. была создана ассоциация «НП Совет рынка». Она участвует в создании правил для различных рынков электроэнергии и мощности; утверждает и разрабатывает: регламенты оптового рынка; Договор о присоединении к торговой системе оптового рынка; ведет реестр субъектов оптового рынка (в том числе и ветроэнергетических объектов), осуществляет разрешение споров на рынке [4, 5].

Даже в упомянутом Постановлении № 449 были сформулированы требования, предъявляемые к механизмам работы с объектами ВИЭ, нормам и стандартам по развитию ветроэнергетики в стране. Через некоторое время, после принятия закона в него начали вводиться. По 449 постановлению вводились различные поправки и распоряжения, рассчитанные на изменение некоторых норм. После этого, в 2016 году, увидело свет Распоряжение Правительства от 01.08.2016 г. № 1634-г «Схема территориального планирования Российской Федерации в области энергетики». Этот документ предполагает, что до 2030 в нашей стране будет построено 15 ветроэлектростанций суммарной мощностью 4500 МВт (табл. 1).

Таблица 1 – Целевые показатели объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов (в МВт)

Год	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
На основе энергии ветра	200	400	500	500	500	500	500	150,2

Еще одним важным вопросом является локализация ветроэнергетического оборудования в России. Эта деятельность направленна на увеличение производственных мощностей на территории страны и открытие новых

научно-исследовательских центров. Целевые показатели по этому процессу представлены в Распоряжении Правительства РФ от 28.07.2015 г. № 1472-р.

В тоже время, ряд экспертов считают, что существует необходимость решения некоторых финансовых барьеров, например, через увеличение инвестиций ветроэнергетической отрасли или наращивание государственного финансирования. В первом случае улучшение ситуации можно достигнуть, либо за счет увеличения инвестиционной привлекательности проектов (с привлечением зарубежным специалистов и инвесторов), либо за счет уменьшения процентных ставок при получении различных кредитов (при этом стоит учитывать основные экономические риски). Второе – увеличение финансирования государством – является одним из возможных вариантов, однако, этот процесс должен быть прозрачно и эффективно реализован [6, 7].

Также правительству стоит произвести обновление, а в некоторых случаях замену существующих нормативных документов и стандартов, которые оказывают влияние на внедрение ВИЭ, при этом необходимо учитывать стандарты международной электротехнической комиссии (IEC). Приведем, для примера, земельное законодательство, необходимо понимать, что его изменение под нужды ветроэнергетики – слишком сложный процесс, однако, значительные территориальные ресурсы нашей страны создают возможность для расширения деятельности инвесторов во многих регионах, где находится больше свободных площадей и существует дефицит электроэнергии [8]. Подобная стратегия поможет создать в стране конкурентную среду между регионами, а это позволит в целом увеличит инвестиции в проекты, связанные с ветроэнергетикой. Еще одно эффективное мероприятие – доработка государственного территориального планирования, при этом ветроэлектростанции будут строиться там, где это действительно необходимо и обоснованно. На данный момент существует схема территориального планирования, которая включает проекты ветроэлектростанций мощностью 100 МВт и выше, однако, ее стоит доработать и внести данные о ВЭС малой и средней мощности [9, 10]. В случае возникновения административных барьеров в одном регионе такое планирование позволит перенести станцию в другой, с более благоприятными условиями.

Результаты и обсуждения

Сейчас, темпы роста ветроэнергетической отрасли в РФ существенно отстают от стран с развитым ветроэнергетическим рынком. Несмотря на это, результаты последних конкурсных отборов говорят о положительной динамике, которая создаст необходимый фундамент для строительства на территории страны ветроэлектростанций, общая мощность которых составит 700 МВт. Стоит отметить, что для вывода ветроэнергетики России на мировой уровень, необходимо ввести в работу значительные объемы

мощностей. Потенциал, заложенный в ветроэнергетических ресурсах нашей страны огромен, ведь она обладает огромным экономическим и техническим потенциалом энергии ветра – 16500 ТВт·ч/год. Часть причин, из-за которых эти ресурсы до сих пор не используются, описаны в работе. Тем не менее, со стороны Государства и бизнеса возрастает интерес к строительству новых объектов на основе ветровых и других ВИЭ.

Список использованных источников

1 Перспективы ветроэнергетического рынка в России: Исследование / Фонд имени Фридриха Эберта; Всемирная ветроэнергетическая ассоциация; Штефан Гзенгер, Денисов Р.С. – 2017. – 29 с.

2 **Старков, А. Н.** Атлас ветров России / Старков А. Н. [и др.] – М. : «Можайск-Терра», 2000. – 558 с.

3 **Николаев, В. В.** Обоснование параметров ветродизельных энергокомплексов с учетом местного ветропотенциала и графиков нагрузки: дис. канд. тех. наук: 05.14.08: защищена 06.09.2016 / Николаев Василий Владимирович. – М., 2016. – 147 с.

4 **Николаев, В. Г.** Оценка ветроэнергетического потенциала России / Николаев В. Г. // Энергетик. – 2011. – №. 9. – С. 37–49.

5 **Хацевский, К. В.** Политические аспекты внедрения ветроэлектростанций в энергосистему России / К. В. Хацевский, Е. А. Кукарекин, М. В. Куц, А. В. Симаков // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LX междунар. студ. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2017. – № 12 (59). – С. 450–454.

6 **Бубенчиков, А. А.** Проблемы применения ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой / А. А. Бубенчиков [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 5–2 (36). – С. 39–43.

7 **Лисицын, А. Н.** О перспективах ветроэнергетики в современном мире / А. Н. Лисицын, Н. М. Задорожная // Инновационные технологии в науке и образовании: Сборник статей V Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2017. – С. 36–42.

8 **Серебряков, Р. А.** Современное состояние, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики / Р. А. Серебряков, С. С. Доржиев, Е. Г. Базарова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 3. – С. 13–20.

9 **Шагаров, Д. В.** Проблемы выбора и применения электрогенераторов для ветроэнергетической установки / Д. В. Шагаров, Е. М. Приходько,

К. В. Хацевский // Актуальные вопросы энергетики: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – С. 188–192.

10 **Лебедев, И. С.** Оптимизация конструкции конфузора ветроэнергетической установки для регионов с нестабильно-малым ветровым давлением / И. С. Лебедев, А. А. Бубенчиков, В. Н. Горюнов, К. В. Хацевский // Вестник МЭИ. – 2019. – № 1. – С. 14–19. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-14-19.

References

1 Perspektivy vetroenergeticheskogo rynka v Rossii: Issledovanie / Fond imeni Fridriha Eberta; Vsemirnaya vetroenergeticheskaya associaciya; SHtefan Gzenger, Denisov R. S. [Prospects of the Wind Energy Market in Russia: Research / Friedrich Ebert Foundation; World Wind Energy Association; Stefan Gzenger, Denisov R. S.] – 2017. – 29 p.

2 **Starkov, A. N.** Atlas vetrov Rossii / Starkov A.N. [i dr.] «Mozhajsk-Terra», [Starkov A. N. Atlas of the winds of Russia / Starkov A. N. [et al.] – M. : Mozhaisk-Terra] – 2000. – 558 p.

3 **Nikolaev, V. V.** Obosnovanie parametrov vetrodizel'nyh energokompleksov s uchetom mestnogo vetropotenciala i grafikov nagruzki: dis. … kand. tekh. nauk: 05.14.08: zashchishchena 06.09.2016/ Nikolaev Vasilij Vladimirovich [Nikolaev V. V. Justification of the parameters of wind-diesel power complexes taking into account the local wind potential and load schedules: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.14.08: defended 06.09.2016/ Nikolaev Vasily Vladimirovich.] – M., 2016. – 147 p.

4 **Nikolaev, V. G.** Ocenka vetroenergeticheskogo potenciala Rossii / Nikolaev V.G. // Energetik [Nikolaev V. G. Evaluation of the wind energy potential of Russia / Nikolaev V. G. // Energetik] – 2011. – №. 9. P. 37–49.

5 **Khatsevskiy, K. V.** Politicheskie aspekty vnedreniya vetroelektrostancij v energosistemu Rossii / K. V. Khatsevskiy, E. A. Kukarekin, M. V. Kuc, A. V. Simakov // Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki: sb. st. po mat. [Khatsevskiy K. V. Political aspects of the introduction of wind power plants in the energy system of Russia / K. V. Khatsevskiy, E. A. Kukarekin, M. V. Kuts, A. V. Simakov // Scientific community of students of the XXI century. Technical sciences: mat. LX International Student Scientific and Practical Conference-Novosibirsk: SibAK Publishing House»]. – 2017. – № 12 (59). – P. 450–454.

6 **Bubenchikov, A. A.** Problemy primeneniya vetroenergeticheskih ustanovok v regionah s maloj vetrovoj nagruzkoj / A. A. Bubenchikov [i dr.] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [Bubenchikov A. A. problems

of the application of wind turbines in areas with low wind load / A. Bubenchikov A. [et al.] // International research journal.] – 2015. – № 5–2 (36). – P. 39–43.

7 **Lisicyn, A. N.** O perspektivah vetroenergetiki v sovremennom mire / A.N. Lisicyn, N.M. Zadorozhnaya // Innovacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Sbornik statej V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. [Lisitsyn A. N. About the prospects of wind energy in the modern world / A. N. Lisitsyn, N. M. Zadorozhnaya // Innovative technologies in science and education: Collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference-Penza] 2017. – P. 36–42.

8 **Serebryakov, R. A.** Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya vetroenergetiki / R. A. Serebryakov, S. S. Dorzhiev, E. G. Bazarova // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk [Serebryakov R. A. Modern state, problems and prospects of wind power development / R. A. Serebryakov, S. S. Dorzhiev, E. G. Bazarova // Actual problems of the humanities and natural sciences]. – 2016. – №. 3. – P. 13-20.

9 **Shagarov, D. V.** Problemy vybora i primeneniya elektrogeneratorov dlya vetroenergeticheskoj ustanovki / D.V. Shagarov, E.M. Prihod'ko, K.V. Khatsevskiy // Aktual'nye voprosy energetiki: materialy vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. [Shagarov D. V. Problems of selection and application of electric generators for a wind power plant / D. V. Shagarov, E. M. Prikhodko, K. V. Khatsevskiy // Actual issues of power engineering: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international cooperation. participation.] – Omsk: Izd-vo OmSTU] – 2018. – P. 188–192.

10 **Lebedev, I. S.** Optimizaciya konstrukcii konfuzora vetroenergeticheskoj ustanovki dlya regionov s nestabil'no-malym vetrovym davleniem / I. S. Lebedev, A. A. Bubenchikov, V. N. Goryunov, K. V. Khatsevskiy // Vestnik MEI. [Lebedev I. S. design Optimization of a confuser windmills to regions with unstable low wind pressure / I. Lebedev, A. A. Bubenchikov, V. N. Goryunov, V. K. Khatsevskiy // MPEI Vestnik.] – 2019. – No. 1. – P. 14-19. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-14-19.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко

Ресейдің энергетикалық жүйесіне жел электр станцияларын енгізуді талдау

Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Ресей Федерациясы, Омбы қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

K. V. Khatsevskiy, T. V. Gonenko

Analysis of the implementation of wind power plants in the Russian energy system

Omsk State Technical University,
Russian Federation, Omsk.
Material received on 19.03.21.

Жұмыста Ресейдің жел энергетикасы сияқты саладағы қызметі қарастырылған. Әрине, оның елдің заманауи энергетикалық жүйесіндегі орны. Жел электр станцияларының тиімділігі туралы қате түсініктер оларды енгізуге теріс әсер ететіні анықталды. Осы саладағы қызметті қалыпқа келтіру үшін мемлекет қабылдаған ережелер мен федералды заңдар ұсынылған. Зерттелген әдебиеттер негізінде авторлар бірқатар шараларды ұсынды, олардың пікірінше, Ресейдегі жел энергетикасының дамуына оң әсер етеді.

Кілтті сөздер: жел электр станциялары, Жел энергетикалық әлеуеті, жаңартылатын энергия көздері.

The paper considers Russia's activities in the field of wind energy. Definitely its place in the modern energy system of the country. It is revealed that often erroneous ideas about the efficiency of wind power plants negatively affect their implementation. The resolutions and federal laws adopted by the state for the regulation of activities in this area are presented. Based on the studied literature, the authors propose a number of measures that, in their opinion, will have a positive impact on the development of wind energy in Russia.

Keywords: wind power plants, wind energy potential, renewable energy sources.

МРНТИ: 45.41.33

https://doi.org/10.48081/LALW4342

***Д. М. Чныбаева, Ю. А. Цыба**

Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

ЭНЕРГИЯ ТИІМДІ ЖИІЛІКТІ РЕТТЕЛЕТІН ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ ҮШІН КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРДЫ ЖАҢАРТУ

Бұл мақалада «Оңтүстік» газ құбыры аймағындағы компрессорлық станцияның газ айдау қондырғыларының электр шығынын, пайдалы әсер коэффициенті мен өнімділігін құралды зерттеу нәтижелері келтірілген, бұл үрлегіштердің барлық жұмыс істеу кезеңінде магистральдық газ құбыры желісінің жүктемесі мен үрлегіштің реттелмеген электр жетегінің жүктемесі арасында айтарлықтай сәйкессіздік бар екенін көрсетті. Эксперименттік зерттеулердің есептеулері мен талдаулары көрсеткендей, газды тасымалдауға электр энергиясының артық шығыны орта есеппен 32 % құрайды. Энергия тиімді жиілікті реттелетін электр жетегін енгізу арқылы жаңа техника мен технологияларды енгізу үшін заманауи техникалық шешімдерді қолдана отырып, электр және газ айдау қондырғыларының қолданыстағы паркін қайта құру және жаңарту бойынша ұсыныстар берілген.

Кілтті сөздер: магистральдық газ құбыры, компрессорлық станция, газ айдау қондырғысы, электр жетегі, жиілік түрлендіргіші, синхронды машина, асинхронды қозғалтқыш, технологиялық параметрлер, газ тұтыну, өнімділік, газ қысымы, сығымдау деңгейі, қуат, айналып өту, энергия көрсеткіштері, жедел диагностика, сенімділік, экологиялығы.

Кіріспе

Қазіргі кезде Қазақстанда әр түрлі санаттағы және әр түрлі мақсаттағы газ құбырларының желісі жұмыс істейді және үнемі дамып келеді. Газ ағынының басқаруы газ айдау қондырғыларының (ГАҚ) өнімділігін өзгерту арқылы жүзеге асырылады. Әр түрлі өндірушілердің әр түрлі стандартты өлшемдеріне (ГАҚ) қарамастан, компрессорлық станцияның (КС)

үрлегіштерінің жетек түрі және олардың қуаты негізінен газ құбырының өткізу қабілеттілігімен анықталады.

Сыйымдылығы үлкен магистральдық газ құбырлары (МГҚ) үшін ең тиімді қолдану – бұл газ турбиналық қондырғылармен басқарылатын жетекті ортадан тепкіш үрлегіштер (ОТҮ) немесе мега ватты айнымалы ток электр машиналарына негізделген электр қозғалтқыштары (ЭГАҚ).

Сонымен бірге, газ турбиналық ГАҚ қондырғыларының баламалы нұсқаларымен салыстырғанда, әсіресе энергияның артықшылық аймақтардағы, төмен капиталды және пайдаланған шығындары, жоғары энергетикалық көрсеткіштерінің жиынтығы жоғары сенімділікпен және экологиялылығына байланысты ЭГАҚ әлдеқайда дамуы орасан болып табылады.

Алайда, қазіргі таңда ЭГАҚ-ы үшін әді де үнемді емес реттелмеген жүйелі синхронды машиналары қолданылады. Газбен жабдықтау және іске қосу режимдерінде жұмыс істеген кезде көне және үнемді емес басқару әдістері, айналма бұрамалар мен сұйықтық муфталары, сондай-ақ реакторды іске қосу құрылғылары қолданылады. Бұл құрылғылар энергияны үнемдеу мен сенімділік мәселелерін қамтамасыз етпей, тек жергілікті мәселелерді шешеді.

Сондықтан, зияткерлі басқару қағидаларын іске асыруды қамтамасыз ететін, газ тасымалдаудың энергетикалық-экономикалық тиімділігін арттыратын, жедел диагностикалау мен болжамды ЭГАҚ негізінде жиілікті реттелетін жетектің (ЖРЖ) энергия тиімді жүйелерін теориялық негіздеу, дамыту және зерттеу, компрессорлық станцияның энергия үнемдеу және автоматтандыру мәселелерін шешуге кешенді көзқараспен сипатталатын микропроцессорлық құралдарды қолдануға негізделген техникалық жағдай жедел және ғылыми-практикалық міндет болып табылады.

Зерттеу нысаны: «Тараз» қаласы маңындағы магистральды газ құбырының сызықтық аймағының КС-5 компрессорлық станциясы.

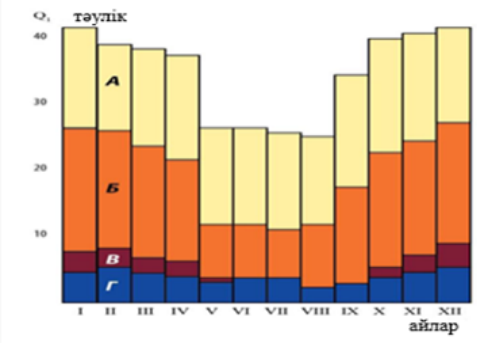
Мақсаты: Қазақстан Республикасының газ тасымалдау жүйесін (ГТЖ) дамыту және газды тасымалдаудың энергия тиімділігін арттыру үшін заманауи техникалық шешімдерді қолдана отырып, қолданыстағы ЭГАҚ паркін жоспарлы қайта құру және жаңғыртудың негізгі міндеттері.

Зерттеу әдістері мен нәтижелері: Газды айдайтын қондырғыларды электр қуатын тұтыну және өнімділік тұрғысынан нақты жабдықты зерттеу жаңа және жаңартылынған ЭГАҚ үшін қысымның, температураның және газ шығынын оңтайлы параметрлерін есептеудің жаңа әдістерін енгізуге мүмкіндік береді, бұл компрессорлық станцияларды жобалау мен жаңарлатудың бірыңғай теориялық негізделген идеологиясына көшуге әкеледі, шығындарды төмендету, энергия сыйымдылығы, жабдықтың жұмысының сенімділігі мен жұмсалымдығын кеңейту.

Қазіргі уақытта ЭГАҚ паркінің едәуір бөлігі қуаттылығы 4 және 12,5 МВт синхронды машиналар негізінде реттелмеген электр жетегімен ұсынылған, олардың жалпы саны барлық ЭГАҚ-дың шамамен 90 % құрайды. Сонымен бірге магистральдық газ көлігі едәуір қашықтықта, әр түрлі таулы-геологиялық рельефте, соның ішінде белсенді тектоникалық ақаулар мен өзендердің су тоскауылдарымен, сондай-ақ әр түрлі метеорологиялық жағдайлармен сипатталады.

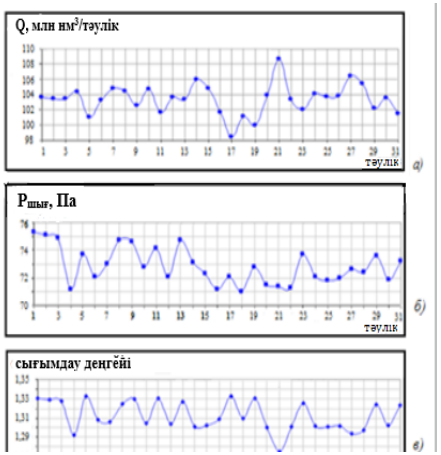
Сонымен қатар, газбен жабдықтау жүйесі маусымдық, айлық және тәуліктік кестелерімен жүйеге сәйкес келмейтін газ айдау режимдерімен сипатталады.

1-суреттен көріп отырғанымыздай, КС-ң және жеке ГАҚ-ң жұмыс режиміне ең үлкен әсер жылу беру кезеңінде және аз мөлшерде жазда энергия ресурстарының көбірек тұтынылуына байланысты, желтоқсан-қаңтар айларында көп мөлшерде газбен қамтамасыз етілуімен негізгі газ өнімділігінің өзгеруінен туындайды.



Сурет 1 – Ірі өнеркәсіптік орталықта газды тұтынудың маусымдық ауытқу сұлбасы А-ЖЭО; В – өнеркәсіп; В – жылыту; Г – тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық

Қазіргі заманғы газ құбырының жұмыс режимі сонымен қатар тәулік бойына газдың біркелкі берілмеуімен сипатталады (2, а-сурет), бұл қысым мен сығымдау деңгейінің айтарлықтай ауытқуын тудырады (2, б және 2, в суреттер).



Сурет 2 – МГ технологиялық параметрлерінің біркелкі емес графиктері
а) тәуліктік өнімділік, б) шығыс қысымы, с) сығымдау деңгейі

Газ құбырларын пайдалану тәжірибесінде, айналу жиілігі бойынша реттелмеген ГАҚ-ды пайдаланған кезде жұмыс режимдері үрлегіштің рұқсат етілген қуат тұтыну мөлшерінен асып кетуі немесе шығу қысымының шекті мәнінен асып кетуінен пайда болады.

Мұндай режимдерді алып тастау үшін үрлегіштің қысымын төмендету қажет, бұл үрлегіштің тұрақты айналу жиілігінде қиынға соғады.

Екінші жағынан, бірқатар компрессорлық станцияларда кіріс қысымы едәуір төмендеуі мүмкін, бұл ГАҚ-ң қуатына аз жүктелуіне әкеледі, яғни үрлегіштің қысымын жоғарылату қажет, ал бұл ГАҚ-ң көрсетілген түрі үшін де қиынға соғады.

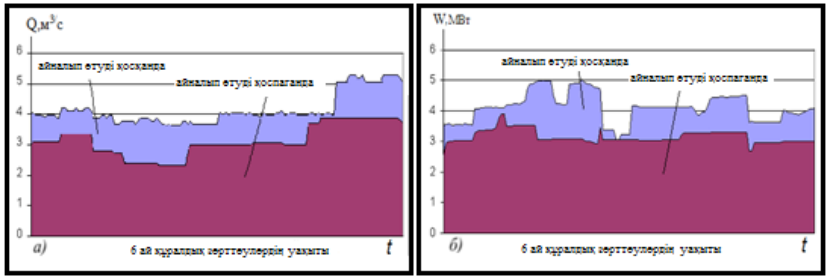
Еске сала кететін болсақ, қарастырылатын жағдайлардағы үрлегіштің қысымын реттеу үшін үрлеу қондырғысының кіріс немесе шығыс бөлігінде газды дроссельдеуді, сондай-ақ кіріс бөлігіндегі бұрамалардың бірін басқару арқылы газды үрлегіштің кірісіне айналып өтуін қолдануға болады. Алайда, осы реттеу әдістерінің экономикалық тиімділігін талдау, бұрын айтылғандай, олардың қолайсыздығын көрсетеді [1, 2].

Осылайша, компрессорлық станцияның жабдықтары мен құбырлары магистральды газ жұмысының ауыспалы режиміне бейімделгеніне қарамастан, әсіресе МГ желісінің жүктемесі мен үрлегіштің жүктемесінің сәйкес келмеуімен байланысты өтпелі режимдерінде (3-сурет) ЭГАҚ-ң реттелмеген электр жетегі параметрлердің оңтайлы режимнен ауытқуы және жұмыс нүктесінің максималды пайдалы әсер коэффициентінен ығысуы салдарынан электр энергиясының шамадан тыс тұтынылуына әкеледі.

Сонымен бірге Тараз қаласы маңындағы магистральдық газ құбырының КС-5 аймағында ЭГАҚ -О-6,3 типті стационарлық үрлегіштің өнімділігін реттеудің негізгі әдісі газдың бір бөлігін айдауға дейін айналып өту, яғни байпас болып табылады.

Сурет 4 – Зерттелген кезеңдегі орташа ПӘК (η) графигі

4 суретте КС-5-те 6 ай ішінде құралды зерттеулер негізінде мақала авторлары құрастырған өнімділік пен қуаттың графиктері көрсетілген.



Сурет 4 – Байпас жүйені ескере отырып, орташа графиктер
а) өнімділік, б) қуат

Зерттелетін кезеңдегі айналып өтуді, яғни байпас қосқанда, өнімділіктің орташа мәні (4-сурет, а) 4,166923 м³/с құрайды, ал сол кезеңдегі айналып өтуді, яғни байпас қоспағанда орташа мәні 3,142994 м³/с құрайды.

Байпас жүйені ескере отырып, есептеулер жүргізіп және өнімділіктің шығынын қажетті реттеу аралығын аламыз, ол келесі түрге ие болады.

Зерттелетін кезеңдегі айналып өтуді, яғни байпас қосқанда, орташа қуат мәні (4, б-сурет) 4,11 МВт құрайды, ал айналып өтуді, яғни байпас қоспағанда орташа мәні 3,15 МВт құрайды. Дегенмен, байпас кезінде шығындар салдарынан электр энергиясын шамадан тыс тұтыну 32,4 % құрайды.

Көктемгі айларда байпасты 100 % дерлік ашуға тура келеді, нәтижесінде 1,0-ден 2,5 млн нм^3/ тәулікке дейін бос айдалады, ал газ құбыры арқылы газ тұтынудың төмендеуіне әкеліп, барлық жұмыс істейтін ЭГАҚ-да сығымдау деңгейінің өсуіне және сәйкесінше энергия шығынын ұлғайтады.

Демек, алынған құралды зерттеулердің және алынған талдаулардың нәтижелері бойынша «Тараз» ЭГАҚ-О-6,3В компрессорлық станциясының барлық жұмыс маусымындағы магистральдық газ құбырының жұмыс режимі желінің жүктемесі мен үрлегішінің жүктемесінде айтарлықтай айырмашылық болғандықтан, үрлегіштің шектелген жұмыс режимдерінің арақашықтығына сәйкес келмейді. Сонымен бірге, өтпелі режимдерде қуаттылықтың 4,11 МВт-қа дейін ұлғаюымен 0,06-дан 0,11-ге дейін пайдалы әсер коэффициентінің айтарлықтай төмендеуі байқалады (3-сурет). 5,28 МВт-қа дейінгі қуаттың айтарлықтай артуы сығымдау деңгейі төмен режимдерде жүреді, бұл байпас шарттарымен байланысты, егер құбырдағы газдың тиісті мөлшері болмаған кезде байпасты 100% дерлік ашып және газды контур бойымен айдау керек. Бұл сонымен бірге қондырғының өнімділігінің 4,82 м^3/т дейін, ал өтпелі режимдерде 5,2 м^3/т дейін жоғарылауымен байланысты (4-сурет, а). Газ шығыны 3–4 млн.нм^3/тәулік құрайды, ал үрлегіштердің коммерциялық қуаты 7–9 млн.нм^3/тәулік құрайды, яғни үрлегішт өте үнемсіз жұмыс істейді. Жалпы, жоғарыда атап өткендей, 1,0-ден 2,5 млн.нм^3/тәулік жұмыс істемейді. Егер біз мұны ысырап болған электр энергиясына қайта есептесек, ол тәулігіне 24–36 МВт*сағ құрайды, ал электр энергиясының орташа құны 19 теңге/кВт*сағ болған жағдайда, біз бүгінде тәулігіне шамамен 456–684 мың.теңге ақшамен есептен асып түсетін боламыз.

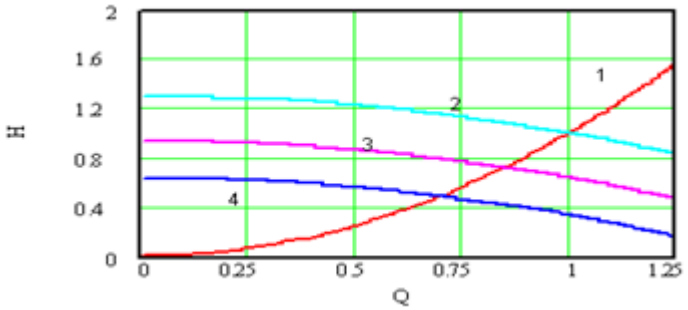
Келтірілген көрсеткіштер магистральдық газ құбырының жұмыс режимі байпас жұмыс режимдерінің аралығына сәйкес келуі үшін ЭГАҚ-О-6,3В КС-5 «Тараз» өнімділігін үнемі реттеу қажет.

КС МГ қазіргі заманғы қалааралық газ тасымалдау жүйелері мен құрылымдарының талдауы параметрлерді жедел реттеудің және газ тасымалдау жүйесінің технологиялық параметрлеріне тиімді әсер етуді қамтамасыз етудің негізгі арнасы ЖРЖ ЭГАҚ (үрлегіштер) екенін көрсетті.

Қазіргі уақытта өнеркәсіп КС-ға енгізілген жиілікті реттелетін электр жетекті газ айдау жабдықтарының жаңа буынын ұсынатын жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) және ЭГАҚ-4,0/8200 және ЭГАҚ -6,3/8200 сияқты қосалқы электр жабдықтары бар жаңа толық ЭГАҚ өндірісін игерді.

Реттелетін жетекті қолдана отырып, үрлегіштердің айналу жылдамдығын бірқалыпты басқаруға болады және осылайша дроссельді пайдаланбай, газ айдаудың айнымалы технологиялық режимдерінде жұмыс істейтін МГ жұмыс кезінде қажетті өнімділік пен қысым мәндерін қамтамасыз етуге болады. Әсіресе, газды аз тұтынған кезде, энергияны үнемдеуге үрлегіштердің құрылғысының айналым санын төмендету арқылы қол жеткізуге болады, бұл қысымды төмендетеді және өсу аймағының ауытқуын азайтады. 5-суретте ЖРЖ ЭГАҚ ОТҮ және магистральдық газ құбырының сипаттамалары үрлегіштің айналу жиілігін өзгерту арқылы газбен жабдықтаудың реттеу қағидасын көрсетеді.

Осы сипаттамалардан реттелетін электр жетегінің тиімділігі айқын көрінеді, өйткені кез-келген газ параметрлері үшін үрлегіштердің кірісі мен шығысында әрдайым айналымдар болады, онда оның максималды политропты ПӘК-н қамтамасыз етуге және сол арқылы газ құбырының қолайлы жұмыс режимін іске асыруға болады. Бұл техникалық шешімдер шетелдегі бірқатар компрессорлық станцияларда жүзеге асырылды [1, 2, 3].



Сурет 5 – Ортадан тепкіш үрлегіштің
айналу жиілігін өзгерту арқылы ағынды реттеу
1 – Магистраль сипаттамалары; 2, 3, 4 – ω реттеу кезіндегі сипаттамалары

Осындай жағдайда газды сенімді және үнемді тасымалдауды қамтамасыз ету үшін қазіргі заманғы техникалық шешімдерді қолдана отырып, жұмыс істеп тұрған ЭГАҚ паркін жоспарлы қайта құру және жаңарту маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Осындай ұйымдастырушылық және техникалық шараларды өткізу реттелетін электр жетегінің келесі артықшылықтарын көрсетуі керек:

– жоғары энергетикалық параметрлері бар МГ технологиялық режимдерін дәл және жылдам дамыту;

– ПӘК ЖРЖ ЭГАҚ тиімділігі ортадан тепкіш үрлегіштер (ОТҮ) жүктемесіне және ауа температурасына байланысты емес және 95–98 % деңгейінде қамтамасыз етілген (ГТҚ - тек 28–36 %);

– реттеудің кең ауқымы. Реттелетін электр жетегін қолдану жүктеме кестесі біркелкі емес объектілерде экономикалық тұрғыдан негізделген, газ турбиналық қондырғылар (ГТҚ) қағидалық мәннен төмен жүктемелерде жұмыс істей алмайды; айналу жиілігімен реттелетін ЭГАҚ үшін «ауытқу» шектері азаяды;

– ЭГАҚ жаңа құрылымының ықшамдылығы және мұнай – май өнімдерінің болмауы;

– жоғары сенімділік 4000 сағат істен шыққанша жұмыс істеу (жаңа ЭГАҚ 40 000 сағатқа дейін ұқсас көрсеткіштерге ие);

– минималды бастапқы қаржы шығындар ГТҚ-дан 3–9 есе төмен;

– жөндеудің төмен еңбек сыйымдылығы (1,5–2 есе) және техникалық қызмет көрсету мен жөндеуге кеткен шығындар (4 %);

– экологиялылығы, шу мен діріл деңгейінің төмендігі, қоршаған ортаға зиянды шығарындылардың болмауы.

Қолданыстағы ЭГАҚ реттелмеген электр жетегінің қарастырылған кемшіліктерін және ЖРЖ ЭГАҚ артықшылықтарын ескере отырып, ЭГАҚ паркін келесі бағыттар бойынша жаңарту қажет:

– өзінің ресурсын таусып үлгермеген СТД-4000, СТД-12500, СДГМ, СД типті электронды бояу іске қосу құрылғыларымен жабдықтау.

– паркті құрғақ газ-динамикалық тығыздағыштары бар редукторсыз сұлбаларға ауыстыра отырып, электромагниттік мойынтіректерді енгізу.

– ЭГАҚ паркін біртіндеп жаңа асинхронды жоғары айналым жетектермен ескірген синхронды электр жетегімен ауыстыру, жиілік түрлендіргіштерімен бірге жұмыс істеуге бейімдеу.

– табиғат сипаттағы технологиялық және табиғи факторлардың өзгеруімен біркелкі емес маусымдық, айлық және тәуліктік газ шығыны жағдайында ПӘК мен басқа энергетикалық сипаттамалары нашарламай, барлық қолайлы технологиялық режимдерді дәл сынауды қамтамасыз ететін жоғары вольтты көп деңгейлі ЖТ-ге негізделген жиілікті реттелетін ЭГАҚ-ны енгізу.

Сонымен бірге ЭГАҚ-ны жаңарту кезінде ЭГАҚ-дың компрессорлық станция жағдайында сенімді және қолайлы жұмысын қамтамасыз ете отырып, техникалық және технологиялық шешімдердің энергия тиімділігі саласындағы теориялық әзірлемелерді іске асырудың кезек күттірмейтін мәселелер жиынтығын шешу қажет.

Жаңа технологияны енгізу туралы:

1 скалярлық, векторлық жиіліктегі немесе квази-жиілікті іске қосу режиміндегі жүктеме кезінде немесе ыстық күйден бояу іске қосуға арналған құрылғылар;

2 сыртқы ауытқулар жағдайында шығыс газ қысымын тұрақтандыру үшін жоғары вольтты ЖРЖ инвариантты АРЖ жылдамдығының қозғалтқышы;

3 векторлық басқарумен өлшеусіз автоматты реттеу жүйесінде (АРЖ) машинаның жүктеме бұрышын басқара отырып, қозғалтқыштың тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге арналған құралдар;

4 майсыз және редукторсыз жүйелердегі бір құрылмасындағы жоғары жылдамдықты қозғалтқыштардың және үрлегіштердің біліктері мен роторларының магниттік ілгіші;

5 жабдықтың нақты күйіне сәйкес техникалық қызмет көрсету мен жөндеуге ауысумен *Fuzzy-logic* арқылы ЭГАҚ жағдайын бақылау және болжау үшін «on-line» жүйелер;

6 параллель жұмыс кезінде қозғалтқыштардың ГАҚ және қоректендіру желісімен электромеханикалық және электромагниттік үйлесімділігін қамтамасыз ету құралдары;

7 10 кВ-тық инновациялық тарату қондырғысын, микропроцессорлық релелік қорғанысты және автоматтандыруды мен аралас энергия көздерін қолдана отырып, электрмен жабдықтау жүйелерін қайта құру.

Жаңа технологияларды енгізу бойынша:

1 жиілікті реттелетін электр жетегі объектілері ретінде үрлегіштердің нақты жұмысын талдау негізінде жаңа және жетілдірілген ЭГАҚ үшін қысымның, температураның және газ тұтынудың қолайлы параметрлерін есептеудің жаңа әдістерін енгізу;

2 компрессорлық станцияның негізгі және қосалқы технологиялық жабдықтарының (үрлегіштер, газға, майға арналған ауа салқындатқыштар) жұмыс параметрлерін әр компрессорлық цехтың ішіндегі энергия шығынын барынша азайту мақсатында үйлестіру;

3 газ тасымалдаушы кәсіпорында энергия тұтынуды тиімділеу мақсатында немесе газбен жабдықтау мен газды тұтынудың әртүрлі параметрлерімен іргелес компрессорлық цехтардың жұмыс режимін үйлестіру;

4 диспетчерлік басқарудың автоматтандырылған жүйелерін, шешімдер қабылдауды басқару жүйелерін және т.б енгізу арқылы компрессорлық станцияның сирек қоныстанған технологияларына көшу;

5 парниктік газдар, пайдалынған майлар, діріл мен шу сипаттамаларын, сондай-ақ мұнай өнеркәсібіне байланысты өртке қарсы жүйелердің жүктемесін азайту арқылы табиғатқа экологиялық жүктемені азайту.

ЖРЖ ЭГАҚ шектеулі қолданылуына әсер ететін негізгі фактор – электр энергиясының жоғары бағасы. Сондықтан ГПҚ электр жетектерін жаңартумен бір мезгілде тәулік уақыты бойынша сараланған тарифтерді қолдана отырып және электр энергиясын сатып алу тарифтерін төмендету және энергияны тұтынуды автоматтандырылған басқару және есепке алу жүйелерін енгізу

мәселелерін шешу қажет. Энергетикалық аудит және компрессорлық станция объектілерінде энергияны үнемдейтін технологияларды енгізу маңызды шаралар болып табылады.

«ҚазТрансГаз» АҚ-ң стратегиялық менеджментінің арқасында Қазақстан аумағы арқылы газ тасымалдау саласында серпіліс жасауға болатынын атап өткен жөн. Жақында ғана компания «Қазақстан-Қытай» газ құбырының және «Бейнеу-Бозой-Шымкент» газ құбырының Бейнеу-Бозой аймағын пайдалануға берді [4]. Бұл қазіргі кезде Қазақстан Республикасы (ҚР) жаһандық газ тасымалдау жүйесінің елеулі қатысушысы болып табылады, оның болашағы зор және Орталық Азияда ең жақсы деп танылғанын көрсетеді, өйткені жаңа технологияларды енгізу КС МГ-ң жұмысының жоғары өнімділігін, сенімділігі мен энергияны барынша үнемдеуді қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Жұмыс маусымында газ тасымалдау кезіндегі энергия көрсеткіштерін эксперименттік зерттеулерді талдау Тараз компрессорлық станциясының реттелмеген ЭГАҚ-О-6,3В электр жетегі бар үрлегіштердің жүктемесі мен магистральдық газ құбыры желісінің жүктемесі арасында айтарлықтай сәйкессіздік көрсетілді. Сонымен қатар, 1,0-ден 2,5 млн нм^3/тәулікке дейін бос айдайды, бұл жерден байпастағы ысырапқа байланысты электр энергиясының шамадан тыс шығыны орта есеппен 32 % құрайды.

Қазақстан Республикасының газ тасымалдау жүйесін (ГТЖ) дамытудың қазіргі үрдістері және басқа да энергия көздерімен қиыншылықтар салдарынан табиғи газға сұраныстың артуы, газ құбырларының орташа ұзындығының 5000 км-ге дейін ұлғаюы және негізгі кен орындарының газбен жабдықтау режиміне өтуі. Бұл шығындарды азайту, энергияны тұтыну, жұмсалымды пайдалану, жабдықтардың жұмысының сенімділігін кеңейту арқылы компрессорлық станцияларды жобалау мен жаңартудың бірыңғай теориялық негізделген идеологиясы негізінде ГТЖ қарқынды әдістерге көшіруді тудырады.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Крюков, О. В., Краснов, Д. В.** Перспективы применения ПЧ для регулирования производительности ЭГПА [Текст] // Газовая промышленность. – 2014. – № 6. – С. 86–89.

2 **Мустафин, М. А., Мустафин, Е. М.** Энергосберегающие системы электропривода центробежных насосов. [Текст] – Алматы, 2009. – 248 с.

3 **Сагитов, П. И., Цыба, Ю. А.** Частотно-регулируемый электропривод газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных газопроводов. [Текст] // Инженерно-технический журнал «Вестник Автоматизации» №1 (27). – Алматы : КазНТУ, март, 2010. – С. 41–43.

5 По газопроводу «Бейнеу-Бозой-Шымкент». [Электронный ресурс]. – https://bsgp.kz/ru_RU.

References

1 **Kryukov, O. V., Krasnov, D. V.** Perspektivy primeneniya PCH dlya regulirovaniya proizvoditel'nosti EGPA. [Kryukov O. V., Krasnov D. V. Prospects for the use of inverters to regulate the performance of EGPA] [Text] // Gas Industry, 2014, No. 6 – P.86–89.

2 **Mustafin, M. A., Mustafin, Ye. M.** Energosberegayushchiye sistemy elektroprivoda tsentrobezhnykh nasosov. [Mustafin M. A., Mustafin Ye. M. Energy-saving electric drive systems for centrifugal pumps] – Almaty, 2009. – 248 p.

3 **Sagitov, P. I., Tsyba, Yu. A.** Chastotno-reguliruyemyy elektroprivod gazoperekachivayushchikh agregatov kompressornykh stantsiy magistral'nykh gazoprovodov. [Sagitov P. I., Tsyba Yu. A. Frequency-controlled electric drive of gas-pumping units of compressor stations of main gas pipelines. Engineering – technical journal «Bulletin of Automation»] [Text] // No. 1 (27). – Almaty: KazNTU, March, 2010. – P. 41–43.

4 Po gazoprovodu «Beyneu-Bozoy-Shymkent». [Through the Beineu-Bozoi-Shymkent gas pipeline.] [Electronic resource]. – https://bsgp.kz/ru_RU.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

Д. М. Чныбаева, Ю. А. Цыба

Модернизация компрессорных станций путем внедрения энергоэффективного частотно-регулируемого электропривода

Алматинский университет энергетики и связи
имени Гумарбека Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 19.03.21.

D. M. Chnybayeva, Yu. A. Tsyba

Modernization of compressor stations by implementation of energy efficient frequency controlled electric drive

Almaty University of Energy and Communications
named after Gumarbek Daukeyev,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

В данной статье приводятся результаты инструментальных исследований потребляемой мощности, коэффициента полезного действия и производительности газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции на участке магистрального газопровода «Южный», которые показали, что практически весь период работы нагнетателей наблюдается значительное расхождение нагрузки сети магистрального газопровода и нагрузки нагнетателя с нерегулируемым электроприводом. Расчеты и анализ экспериментальных исследований показывают, что перерасход электроэнергии на транспортировку газа составляет в среднем 32 %. Даются рекомендации по плановой реконструкции и модернизации существующего парка электро-газоперекачивающих агрегатов с применением современных технических решений по внедрению новой техники и технологий путем внедрения энергоэффективного частотно-регулируемого электропривода.

Ключевые слова: магистральный газопровод, компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, электропривод, преобразователь частоты, синхронная машина, асинхронный двигатель, технологические параметры, газопотребление, производительность, давление газа, степень сжатия, мощность, байпас, энергетические показатели, оперативная диагностика. надежность, экологичность.

This article presents the results of instrumental studies of power consumption, efficiency and productivity of gas-pumping units of a compressor station at the Yuzhny gas pipeline section, which showed that practically the entire period of operation of the blowers there is a significant discrepancy between the load of the main gas pipeline network and the load of the blower with an unregulated electric drive. Calculations and analysis of experimental studies show that the excess consumption of electricity for gas transportation is on average 32 %. Recommendations are given for the planned reconstruction and modernization of the existing fleet of electric and gas pumping units with the use of modern technical solutions for the introduction of new equipment and technologies through the introduction of an energy-efficient frequency-controlled electric drive.

Keywords: main gas pipeline, compressor station, gas pumping unit, electric drive, frequency converter, synchronous machine, asynchronous motor, technological parameters, gas consumption, productivity, gas pressure, compression ratio, power, bypass, energy indicators, operational diagnostics. reliability, environmental friendliness.

МРНТИ 44.31.31

https://doi.org/10.48081/GRIX5198

***М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова**
Институт теплоэнергетики и систем управления, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРОСТРУЙНОГО ЭЖЕКТОРА КОНДЕНСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

В Республике Казахстан на данный момент отсутствуют и, следовательно, не используются математические модели эжекторов. В работе представлен анализ уже существующих моделей эжекторов. Кроме того, проанализированы различные методики расчета эжекторов. В работе рассматривались методики КТЗ, ХТЗ, ВТИ, МЭИ, а также уточненная методика. Разработаны математические модели паростpуйных эжекторов ЭПО-3-200 и ЭП-3-25-75 на основе уточненной методике Мурманского И. Б. Математические модели апробированы на АлЭС ТЭЦ-2, результаты представлены в таблицах. Разница полученных при моделировании значений и паспортных данных эжектора ЭПО-3-200 не превышает 13 %. Разница полученных при моделировании значений и паспортных данных эжектора ЭП-3-25-75 не превышает 3 %. Построены рабочие характеристики эжекторов. Рабочая и паспортная характеристики первой ступени эжектора ЭПО-3-200 расположены выше характеристик эжектора ЭП-3-25-75. Начальные точки характеристик ЭПО-3-200 выше начальных точек характеристик ЭП-3-25-75 на 2,5 кПа. Математические модели паростpуйных эжекторов являются дополнением программного продукта «КТИ». Математические модели паростpуйных эжекторов могут быть использованы на других ТЭЦ, при проведении энергетического аудита, разработке способов повышения эффективности, при подготовке теплоэнергетиков.

Ключевые слова: математическая модель, паростpуйный эжектора, методики расчета, паровая турбина.

Введение

Актуальность работы. Пароструйные эжекторы, предназначены для удаления воздуха из объема конденсатора и вакуумной системы, являются одними из важнейших технических компонентов конденсационных систем [1]. Выход из строя эжектора в большинстве случаев приводит к остановке турбинной системы. Для своевременного предотвращения неисправностей эжектора необходимо наличие математической модели, на основе которой можно проводить диагностику установки и режимных параметров.

Научная новизна работы заключается в разработке математической модели пароструйного эжектора по уточненной методике расчета.

Практическая значимость заключается в том, что разработанная математическая модель эжектора может использоваться при диагностике и мониторинге состояния оборудования, проведения энергетического аудита станции, в учебном процессе.

Над разработкой математической модели эжектора конденсационной установки паровой турбины занимались в своих исследованиях такие специалисты как Мурманский И. Б., Adriano Milazzo, Federico Mazzelli и другие.

Мурманский И. Б. разработал уточненную методику расчета эжектора, взяв за основу методику МЭИ [2].

На основе анализа экспериментальных характеристик многоступенчатых пароструйных эжекторов паровых турбин сформулирован комплекс вопросов для уточнения физической модели газодинамики в проточной части пароструйного аппарата и методики расчета эжекторов, а также особенностей функционирования промежуточных охладителей [3, с. 104].

Adriano Milazzo и Federico Mazzelli [4] разработали CFD (ANSYS Fluent) модель эжектора с помощью пользовательских функций. Схема основана на подходе с одной жидкостью и решает уравнения переноса для однородной смеси в сочетании с уравнениями сохранения для числа капель и объемной доли жидкости [4].

Авторами работы [5] был смоделирован пароструйный эжектор, а затем был проведен CFD-анализ для геометрии. Данные о состоянии на входе были проверены путем оценки производительности струйного эжектора, чтобы найти коэффициент уноса, который затем сравнивался с экспериментальными данными.

Материалы и методы

В работе представлены исследования, проведенные с помощью методов математического моделирования.

Для разработки математической модели эжектора необходимо выбрать методику расчета.

Существуют различные методики расчета эжекторов: Калужского турбинного завода (КТЗ), Харьковского турбинного завода (ХТЗ), Всероссийского теплотехнического института (ВТИ), Московского энергетического института (МЭИ).

Методика КТЗ [2] основана на большом объеме экспериментальных данных для двухступенчатых эжекторов. Однако применение методики расчета КТЗ, основанной на обобщении большого количества испытаний двухступенчатых эжекторов, вряд ли может быть приемлемо для разработки трёхступенчатых эжекторов [2, с. 34].

Методика ХТЗ не может быть использована для расчета трехступенчатого эжектора, так как в качестве исходных данных используются величины, которые определяются расчетом – расходы рабочего пара и степени сжатия паровоздушной смеси по ступеням. В методике не представлены алгоритмы расчетов многих геометрических параметров пароструйного аппарата эжектора [6, с. 53].

Задачей расчета по методике ВТИ является определение основных размеров проточных частей пароструйного аппарата, а также поверхности и компоновки его теплообменника, обеспечивающих получение требуемой производительности при удалении неконденсирующихся газов при заданных параметрах эжектируемой паровоздушнойсмеси. При использовании методики необходимо решить более 75 уравнений. Несмотря на массивность решения, методика ВТИ является наиболее полной и самой последней по времени опубликования методикой расчета основных эжекторов турбин. Но методика справедлива только для отдельных режимов и геометрических характеристик струйных аппаратов [7, с. 56].

Методика расчета МЭИ разработана на кафедре МЭИ под руководством профессора Дейча М.Е., также основана на определении газодинамических функций в критических сечениях пароструйного аппарата [8, с. 115] и подобна методике ВТИ. При использовании методики возникают трудности с предварительной оценкой отдельных величин, входящих в расчётные уравнения [8, с. 115].

За основу базовой методики расчета эжектора использован алгоритм, описанный в методике МЭИ [8]. Особенностью методики является расчёт предельного давления по зависимостям для второго предельного режима, который наступает раньше первого и третьего режимов и характеризуется достижением инжектируемым потоком критической скорости в конфузорном, суживающемся участке камеры смешения, что приводит к уменьшению расходов рабочего пара на эжектор. Из-за отсутствия в [8] законченной методики, И. Б. Мурманский в своем исследовании [2] развил и дополнил методику всеми необходимымидля полного расчёта зависимостями.

Результаты

На основе уточненной методики [2] нами разработана математическая модель пароструйного эжектора.

Модель пароструйного эжектора состоит из поверочного расчета, построения характеристики эжектора на сухом воздухе.

Тепловой расчет проведен методом итерационных вычислений.

Расчеты повторяются для ряда значений давления инжектируемой смеси, от давления в приемной камере эжектора при нулевых присосах воздуха до давления, соответствущего присосам воздуха выше максимального значения величины присосов для данного эжектора [9]. По данной методике можно провести расчет характеристики первой ступени эжектора. Характеристики второй и третьей ступени можно рассчитать только после определения количества пара сконденсировавшегося в промежуточных теплообменниках, для чего требуется получение дополнительных данных при испытаниях эжекторов.

Практическое применение математических моделей пароструйных эжекторов похволяет существенно расширить возможности проведения диагностики эжекторов, разработки рекомендаций по повышению эффективности, проведения энергетического аудита станции.

По уточненной методике [2] разработаны математические модели пароструйных эжекторов ЭПО-3-200 и ЭП-3-25-75 паровой турбины Т-100/120-130-3 и апробированы на Алматинской ТЭЦ-2. В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчета эжекторов и сравнение с паспортными данными.

Таблица 1 – Результаты расчета пароструйного эжектора ЭПО-3-200

№	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Значения	
				модель	паспорт
1	Диаметр критического сечения сопла $d_{kp} = (\frac{4G_p a_p}{\pi k_p \Pi_{p*} p_p})^{0,5}$	$d_{кр}$	м	0,0092	0,0085
2	Диаметр цилиндрической части камеры смешения $d_3 = d_{kp}(\frac{F_3}{F_{kp}})^{0,5}$	d_3	м	0,055	0,048
3	Диаметр входного сечения камеры смешения $d_2 = d_3 \mu^{0,5}$	d_2	м	0,068	0,074

Таблица 2 – Результаты расчета пароструйного эжектора ЭП-3-25-75

№	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Значения	
				модель	паспорт
1	Диаметр критического сечения сопла $d_{kp} = (\frac{4G_p a_p}{\pi k_p \Pi_{p*} p_p})^{0,5}$	$d_{кр}$	м	0,0092	0,009
2	Диаметр цилиндрической части камеры смешения $d_3 = d_{kp}(\frac{F_3}{F_{kp}})^{0,5}$	d_3	м	0,075	0,073
3	Диаметр входного сечения камеры смешения $d_2 = d_3 \mu^{0,5}$	d_2	м	0,11	0,113

Из таблицы 1 видно, что разница полученых при моделировании значений и паспортных данных эжектора ЭПО-3-200 не превышает 13%.

Из таблицы 2 видно, что разница полученных при моделировании значений и паспортных данных эжектора ЭП-3-25-75 не превышает 3%.

По результатам расчетов построена характеристика эжекторов первых ступеней. Характеристики получены при давлении рабочего пара – P_p = 490 кПа для эжектора ЭПО-3-200 и P_p = 510 кПа для эжектора ЭП-3-25-75 (рисунок 1).

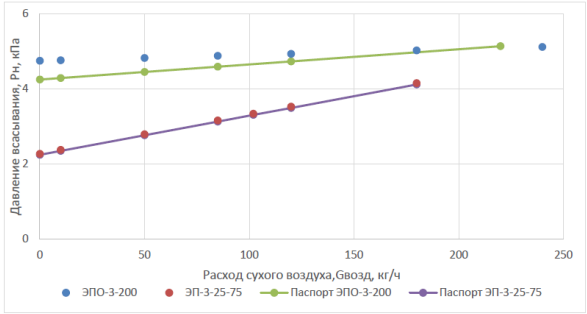


Рисунок 1 – Составление рабочих характеристик эжекторов ЭПО-3-200 и ЭП-3-25-75

Из рисунка 1 видно, что рабочая и паспортная характеристики первой ступени эжектора ЭПО-3-200 расположены выше характеристик эжектора ЭП-3-25-75. Начальные точки характеристик ЭПО-3-200 выше начальных точек характеристик ЭП-3-25-75 на 2,5 кПа.

Математические модели эжекторов позволяют проводить вычислительный эксперимент: изменять параметры, строить графики-зависимости. Математичсекие модели разработаны в табличном редакторе Microsoft Excel.

Дискуссия

В Республике Казахстан на данные момент не разработаны и не применяются диагностические модели эжекторов. В связи с этим перед нами стояла задача в разработке математической модели пароструйного эжектора.

Существуют различные методики расчета пароструйных эжекторов, но они имеют как перимущества, так и недостатки. Поэтому было решено использовать уточненную методику расчета Мурманского И.Б., так как она применима для трехступенчатых эжекторовров и дополнена всеми необходимыми зависимостями.

Особенностью работы по сравнению с другими представленными работами, является то, что математические модели пароструйных эжекторов входят в программный продукт «Конвективный теплообмен, Теплообменные аппараты, Интенсификация» («КТИ»). В структуру «КТИ» входят следующие модули: информационно-справочная база по конвективному теплообмену, информационно-справочная база по фазовым переходам, математические модели станций, приложения. Также преимуществом разработанных математических моделей является то, что они разработаны в редакторе Microsoft Excel, который доступен каждому и не требует дополнительных знаний.

Выводы

В работе представлены математические модели пароструйных эжекторов. Для разработки математических моделей выбрана уточненная методика, разработанная Мурманским И. Б.

Для апробации моделей выбраны пароструйные эжекторы АлЭС ТЭЦ-2 ЭПО-3-200 и ЭП-3-25-75. Построена характеристика данных эжекторов первых ступеней. Из характеристики видно, что начальные точки характеристик ЭПО-3-200 выше начальных точек характеристик ЭП-3-25-75 на 2,5 кПа. Это означает, что давление всасывания эжектора ЭП-3-25-75 при малых расходах ниже по сравнению с эжектором ЭПО-3-200, т.е. эффективность эжектора ЭП-3-25-75 выше эжектора ЭПО-3-200.

Математические модели пароструйных эжекторов можно использовать при разработке способов повышения эффективности установки, при диагностике состояния оборудования, при проведении энергетического аудита станции, в процессе подготовки специалистов теплоэнергетиков при выполнении виртуальных лабораторных работ.

Список использованных источников

1 **Ryabchikov, A. Yu., Aronson, K. É., Brodov, Yu. M., Murmanskii, B. E., Murmanskii, I. B., Zhelonkin, N. V. and Khaet, S. I.** Increasing the reliability of steam-jet ejectors in power plant turbines // Power Technology and Engineering. Vol. 50, No. 5, January, 2017. Translated from Élektricheskie Stantsii, No. 8, August 2016, p. 53 – 56.

2 **Мурманский, И. Б.** Совершенствование многоступенчатых пароструйных эжекторов конденсационных установок паровых турбин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2018. – с. 34.

3 **Aronson, K. E., Ryabchikov, A. Yu., Kuptsov, V. K., Murmanskii, I. B., Brodov, Yu. M., Zhelonkin, N. V. and Khaet, S. I.** Ejectors of power plants turbine units efficiency and reliability increasing // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 012249 doi: 10.1088/1742-6596/891/1/012249. p. 104.

4 CFD modeling of condensing steam ejectors: Comparison with an experimental test-case Article (PDF Available) in International Journal of Thermal Sciences 127 March 2018 with 415 Reads DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.01.012, p. 7.

5 **Arpit Singhal, Tarunk Chitkara, Mohammed Ameenuddin, University of Petroleum & Energy Studies, India.** Design, CFD Analysis and Performance Evaluation of the Steam Jet Ejector // National Convention of Aerospace Engineers (27 NCAE). November 08-09, 2013, Dehradun, India, p. 3.

6 **WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS:** сборник статей XLIII Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – с. 53.

7 **Белевич, А. И.** Разработка и внедрение методов расчёта пароэжекторных установок конденсаторов паровых турбин // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, М. : ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского, 1986 – с. 56.

8 **Соколов, Е. Я.** Струйные аппараты. – М. : Энергоатомиздат, 1989 г. – с. 115.

9 **Аронсон, К. Э., Рябчиков, А. Ю., Брезгин, Д. В., Мурманский, И. Б.** Парогазотурбинные установки: эжекторы конденсационных установок: учеб. пособие для вузов. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – с. 75.

References

1 **Ryabchikov, A. Yu., Aronson, K. É., Brodov, Yu. M., Murmanskii, B. E., Murmanskii, I. B., Zhelonkin, N. V. and Khaet, S. I.** Increasing the reliability of

steam-jet ejectors in power plant turbines // Power Technology and Engineering. Vol. 50, No. 5, January, 2017. Translated from Élektricheskie Stantsii, No. 8, August 2016, p. 53 – 56.

2 **Murmanskiy, I. B.** Sovershenstvovaniye mnogostupenchatykh parostruynykh ezhektorov kondensatsionnykh ustanovok parovykh turbin. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Improvement of multistage steam jet ejectors of condensing units of steam turbines. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Yekaterinburg, 2018. – p. 34.

3 **Aronson, K. E., Ryabchikov, A. Yu., Kuptsov, V. K., Murmanskii, I. B., Brodov, Yu. M., Zhelonkin, N. V. and Khaet, S. I.** Ejectors of power plants turbine units efficiency and reliability increasing // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 012249 doi: 10.1088/1742-6596/891/1/012249. p. 104.

4 CFD modeling of condensing steam ejectors: Comparison with an experimental test-case Article (PDF Available) in International Journal of Thermal Sciences 127 March 2018 with 415 Reads DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.01.012, p. 7.

5 **Arpit Singhal, Tarunk Chitkara, Mohammed Ameenuddin, University of Petroleum & Energy Studies, India.** Design, CFD Analysis and Performance Evaluation of the Steam Jet Ejector // National Convention of Aerospace Engineers (27 NCAE). November 08-09, 2013, Dehradun, India, p. 3.

6 **WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS:** sbornik statey XLIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: Collection of Articles XLIII of the International Scientific and Practical Conference] V 2 ch. CH. 1. – Penza: MTSNS «Nauka i Prosveshcheniye». – 2020. – p. 53.

7 **Belevich, A. I.** Razrabotka i vnedreniye metodov raschota paroezhektornykh ustanovok kondensatorov parovykh turbin. Dissertatsiya na soiskaniye uchonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Development and implementation of methods for calculating steam generator units of steam turbine condenser condensers. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. – M. : VTI im. F.E. Dzerzhinskogo, 1986 – s. 56.

8 **Sokolov, Ye. YA.** Struynyye apparaty. [Inkjet equipment]. – M. : Energoatomizdat, 1989 – p. 115.

9 **Aronson, K. E., Ryabchikov, A. YU., Brezgin, D. V., Murmanskiy, I. B.** Parogazoturbinnyye ustanovki: ezhektory kondensatsionnykh ustanovok: ucheb. posobiye dlya vuzov. [Steam turbine units: ejectors of condensing units: studies. textbook for universities] – M. : Izdatel'stvo Yurayt, 2018. – p. 75.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова

Конденсациялық қондырғының буағынды эжекторының математикалық моделін әзірлеу

Жылу энергетикасы және басқару жүйелері институты,
Гумарбек Даукеев атындағы
Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

M. Shavdinova, N. Borissova

Condensing unit steam jet ejector mathematical model development

Institute of Heat Power Engineering and Control Systems,
Almaty University of Power Engineering and Communications named after Gumarbek Daukeev,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 19.03.21.

Қазақстан Республикасында қазіргі таңда эжекторлардың математикалық модельдері жоқ және солай болғандықтан олар пайдаланылмайды. Жұмыста эжекторлардың қолданыста болатын модельдерінің талдауы көрсетілген. Осыған қоса, эжекторларды есептеудің әртүрлі әдістемелеріне талдау жүргізілген. Жұмыста КТЗ, ХТЗ, БРТИ, МЭИ әдістемелері, сондай-ақ нақтыланған әдістеме қарастырылған. ЭПО-3-200 және ЭП-3-25-75 буағынды эжекторларының математикалық модельдері И. Б. Мурманскийдің нақтыланған әдістемесі негізінде әзірленген. Математикалық модельдер АлЭС ЖЭО-2 негізінде сынамаланған, нәтижелері кестелерде көрсетілген. Үлгілеу кезінде алынған мәндердің және ЭПО-3-200 эжекторының паспорт деректерінің айырмашылығы 13 % аспайды. Үлгілеу кезінде алынған мәндердің және ЭПО-3-25-75 эжекторының паспорт деректерінің айырмашылығы 3 % аспайды. Эжекторлардың жұмыс сипаттамалары құрылды. ЭПО-3-200 эжекторының бірінші сатының жұмыстық және паспорттық сипаттамалары ЭП-3-25-75 эжекторының сипаттамаларынан жоғары орналасқан. ЭПО-3-200 сипаттамаларының бастапқы нүктелері ЭП-3-25-75 сипаттамаларының бастапқы нүктелерінен 2,5 кПа жоғары болады. Буағынды эжекторлардың математикалық модельдері «КТИ» бағдарламалық өнімінің қосымшасы болып табылады. Буағынды эжекторлардың математикалық модельдері энергетикалық аудит жүргізген, тиімділікті арттыру тәсілдерін

әзірлеген, жылу энергетиктарын дайындаған кезде басқа ЖЭО пайдалануы мүмкін.

Кілтті сөздер: математикалық модель, буағынды эжектор, есептеу әдістемелері, бу турбинасы.

At the moment, there are no mathematical models of ejectors in the Republic of Kazakhstan and therefore they are not used there. The paper analyses the existing models of ejectors. Moreover, various calculation methods for ejectors are analyzed. The methods of Kaluga Turbine Works (KTZ), Kharkiv Tractor Plant (KhTZ), All-Russian Technological Institute (VTI), Moscow Power Engineering Institute (MEI), as well as a refined method were reviewed. Mathematical models of steam jet ejectors EPO-3-200 and EP-3-25-75 were developed based on the refined method of Murmanskiy I. B. The mathematical models were tested on Almaty CHPP-2, the results are given in tables. The difference between the simulation values and the rated values of EPO-3-200 ejector does not exceed 13 %. The difference between the simulation values and the rated values of EP-3-25-75 ejector does not exceed 3 %. The operating curves of ejectors were made. Operating and passport curves of the first stage of EPO-3-200 ejector exceed that of EP-3-25-75 ejector. Initial points of curves for EPO-3-200 are 2.5 kPa higher than that for EP-3-25-75. Mathematical models of steam jet ejectors are additions to a software product of «KTI». Mathematical models of steam jet ejectors may be used at other heat power plants, in energy audit, development of efficiency improvement methods, training of heat power engineers.

Keywords: mathematical model, steam jet ejector, calculation methods, steam turbine.

SRNTI 44.39

https://doi.org/10.48081/FXJN4704

S. K. Sheryazov[1], S. S. Issenov[2], A. B. Kaidar[3]
[1]South Ural State Agrarian University,
Russian Federation, Chelyabinsk;
[2]S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;
[3]«Alstom, EKZ» Company,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan

EVOLUTION OF ENERGY CONVERTERS FOR WIND TURBINES

A wind generator system requires a power conversion circuit called a power converter that is capable of regulating the generator frequency and line voltage. Several types of converter topologies have been developed over the past decades; each of them has its own advantages and disadvantages. Currently, there are mainly two converter topologies used in industrial wind turbines. Most of the proposed converters require line filters and transformers to improve the power quality and raise the voltage level accordingly. These heavy and bulky components add significantly to tower construction, turbine installation and maintenance costs. Recent advances in power semiconductors and magnetic materials have led to the development of new converter designs that could be a possible solution to reduce the size, weight and cost of power converters. This article provides an in-depth study of energy converter technology, ongoing research and development.

Keywords: wind generator; power converters; research and development; modern devices and materials.

Introduction

Wind energy has continued the worldwide success story as the wind power development is experiencing dramatic growth. According to statistical data the cumulative installed wind power capacity in 2014, 2017 and 2020 were 74.0, 158.86 and 282.43 GW respectively; almost doubled in every three years. The dynamic growth of wind power directly pushes the wind technology into a more competitive area. Therefore, it is essential for scientists and researchers to find out the effective technologies for the wind power generation systems. The variable

nature of wind energy sources (in terms of the real power, reactive power, output voltage, and frequency) is a major challenging issue. The conversion of an input AC power at a given frequency and voltage to an output power at different frequency and voltage can be obtained with static circuits called power converters, containing controllable power electronic devices. Various power converters have been developed to fulfil the requirements of the wind power generation. Each of them has some advantages and some disadvantages. The traditional converter voltage level is in the range of 380–690 V due to the low generator voltage rating and the use of two-level converter topology. To reduce the electrical losses, a power frequency power-transformer is commonly used in wind power generation system (usually installed inside the turbine nacelle) to step-up the voltage to medium voltage level (e.g. 10–35 kV), as shown in Fig. 1. This heavy and bulky transformer significantly increases the weight and volume of the nacelle as well as mechanical stress of the tower. Nowadays components can handle higher current and voltage ratings, the power loss decreases and the devices become more reliable for the control of megawatt scale power thanks to the power electronics as a rapidly developing technology. The price is still decreasing, and power converters are becoming more and more attractive which means improving the performance of wind power generation systems. With the advent of new power semiconductor devices, different soft magnetic materials with high magnetic saturation flux density and low specific core loss are conceived to reduce the weight and volume of medium or high frequency-link [1].

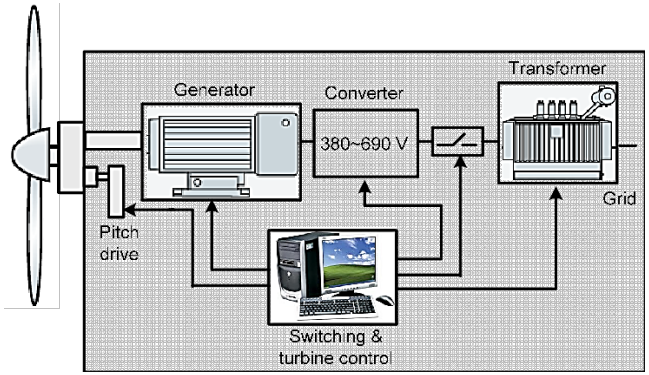


Figure 1 – Fully-rated converter based wind turbine generator system

These recent advances have led to the development of new medium voltage converter system, which would be a possible solution to eliminate the transformer of the wind turbine generator systems. This chapter aims to a comprehensive study

of traditional converter technologies for wind turbine generator systems. In addition the challenges, current research and development trends, possible future directions of the research to develop new converter topology for future wind turbine are also considered in this chapter.

Materials and methods

2 Converters for wind turbine generator systems

In the last two decades different converter topologies have been investigated for power conditioning of wind turbine generator systems. All the proposed converters have some advantages and some disadvantages. Only diode rectifier based unidirectional converter and back to back bidirectional converter topologies are commonly used in the commercial wind turbine generator systems.

2.1Diode rectifier based converter

In this converter system a variable frequency and variable magnitude AC power from the wind turbine generator is firstly converted to a DC power by a diode rectifier circuit and then converted back to an AC power at different frequency and voltage level by a controlled inverter. The diode rectifier (uncontrolled rectifier) based converter system transfers power in a single direction e.g. from generator to the grid. This type of power converter is normally used in a wound rotor synchronous generator (WRSG) or a permanent magnet synchronous generator (PMSG) based wind power generation system instead of an induction generator. In WRSG based system, to achieve variable speed operation the systems use an extra excitation circuit, which feeds the excitation winding of WRSG. The PMSG based wind turbine generator systems are equipped with a step-up chopper circuit. The step-up chopper adapts the rectifier voltage to the DC-link voltage of the inverter. Controlling the inductor current in the step-up chopper can control the generator torque and speed. The diode rectifier with step-up chopper based power conditioning system is illustrated in Fig. 2. The output voltage and input current of the diode rectifier and step-up chopper based converter system are shown in Figs. 3 and 4, respectively. The frequency spectrum of the output voltage of diode rectifier and step-up chopper based wind power conditioning system is depicted in Fig. 5. In this converter system the grid side inverter controls the active and reactive power delivered to the grid. The output voltage of this converter system is in the range of 380–690 V. Therefore, a step- up transformer is commonly installed inside the nacelle to feed-in the energy into an medium voltage grid. Many power semiconductor vendors such as Semikron, ASEA brown boveri (ABB), IXYS, and Mitsubishi Electric produce devices specially designed for this type of converter in a module form, all the devices in a single pack, which reduces the cost and complexity of the power conditioning system. Semikron developed SKS 660F B6U+E1C+B6CI 250 V06 and IGDD6-4-426-D3816-E1F12-BL-FA modules for diode rectifier based power conditioning systems. According to the

internal circuit configuration the SKS 660F B6U+E1C+B6CI 250 V06 module is suitable for PMSG based wind turbine generator systems and IGDD6-4-426-D3816-E1F12-BL-FA module is suitable for WRSG based wind turbine generator systems. Mitsubishi Electric developed CM100MXA-24S module with this converter topology which can be used for both WRSG and PMSG based wind turbine generator systems.

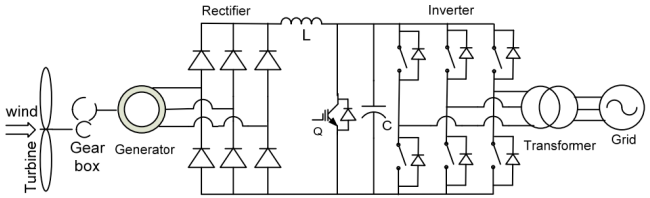


Figure 2 – Diode rectifier based converter topology

Although it is a cost effective choice, the power quality of this converter system is critical to the selection. A summary of advantages and disadvantages is presented as below:

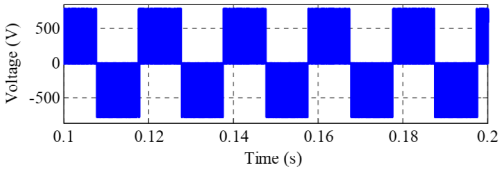


Figure 3 – Output voltage of diode rectifier based converter, where inverter switching frequency is 2 kHz

Advantages:

Low system production cost and

Simple to implement

Disadvantages:

Diode rectifier produces a large amount of harmonics (input current), which affects the performance of theutility system

Higher harmonic losses (output voltage) and

Unidirectional power handling capability

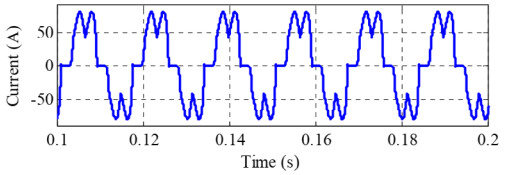


Figure 4 – Input current of diode rectifier based converter

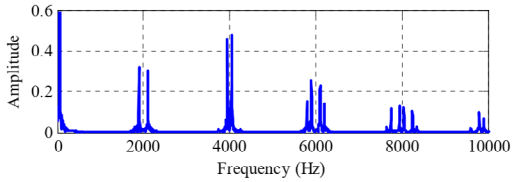


Figure 5 – Output voltage frequency spectrum of diode rectifier based converter system

2.2 Back to back converter

The controlled rectifier and controlled inverter based converter is called back to back converter consisting of two conventional pulse width modulated (PWM) voltage source inverters (VSIs). It differs from the diode rectifier based converter for the rectification stage, where the diode rectifier with chopper circuit is replaced by controlled rectifier as shown in Fig. 6. The controlled rectifier gives the bidirectional power flow capability, which is not possible in the diode rectifier based power conditioning system. Moreover, the controlled rectifier strongly reduces the input current harmonics and harmonic losses. The output voltage and input current waveforms of a back to back converter are illustrated in Figs. 7 and 8, respectively. The grid side converter enables to control the active and reactive power flow to the grid and keeps the DC-link voltage constant, improving the output power quality by reducing total harmonic distortion (THD). The generator side converter works as a driver, controlling the magnetisation demand and the desired rotor speed of the generator. The decoupling capacitor between grid side converter and generator side converter provides independent control capability of the two converters. A simulation analysis of back to back converter based wind turbine generator system was carried in [2]. The harmonic spectrums of the back to back converter are shown in Fig. 9. Due to some special features this converter topology has received great attention recently. Many power semiconductor manufacturers such as Semikron, ASEA brown boveri (ABB), Hitachi, Siemens, IXYS, and Mitsubishi Electric produce components in a module

form, all the devices in a single pack; suitable for this converter, which makesthe converter compact and lightweight. As an example, Semikron developed SKS C 120 GDD 69/11-A3A WA B1B module for power conditioning of synchronous and double-fed generator based wind power systems. The back to back converter can be used for PMSG and squirrel cage induction generator (SCIG) based wind power generation systems. Siemens employs back to back converter for power conditioning of SCIG based wind turbine generator systems. The voltage rating of the most common generators is usually in the range of 380–690 V except that Repower employs 6.6 kV DFIG. Therefore, converter voltage level is also in the range of 380–690 V due to the low generator voltage rating and the use of two-level converter topology. In order to integrate the wind turbine with local medium voltage grid a step-up transformer is normally installed inside the nacelle of the wind turbine. In the last two decades a lot of research and development have been reported to improve the performance of this converter. New control schemes were proposedto improve the performance of inverter section [3, 4] and field programmable gate array (FPGA) based reconfigurable control strategy has been proposed [5]. An integrated control strategy of back to back converter has been developed for direct drive PMSG based wind turbine systems [6].

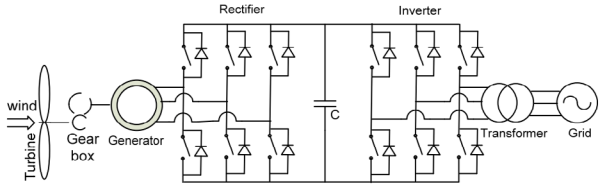


Figure 6 – Back to back converter based wind turbine generator system

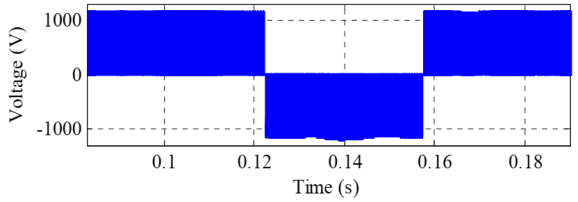


Figure 7 – Output voltage of back to back converter

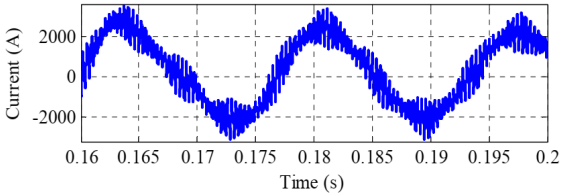


Figure 8 – Input current of back to back converter

Recently, the back to back converter has also attracted significant interest for partial rating converter applications, where the wind turbine system employs doubly-fed induction generator (DFIG). The block diagram of DFIG based wind turbine generator system with back to back converter is shown in Fig. 10.

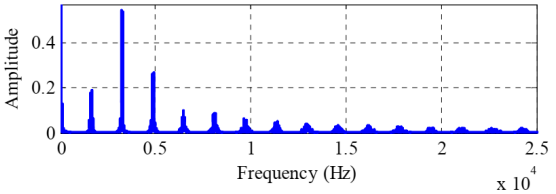


Figure 9 – Frequency spectrum of the output voltage of back to back converter

Several manufacturers such as ABB, Repower, Vestas, GE Wind, and Ecotecnia currently employ DFIG concept for modern wind turbine systems. To obtain sub- and sup-synchronous speed operations the rotor side converter must be able to handle slip power in both directions.When the turbine speed is below the synchronous speed, the power input to the system through the stator winding is balanced by subtracting a small portion of power from the system through the rotor circuit. On the other hand when the shaft speed is above the synchronous speed the power is balanced by adding a small portion of power to the system through the rotor circuit [7]. To improve the performance of the back to back converter based wind turbine generator system several literatures have proposed different control topologies.

Previously, the development and design of DFIG, using an inverter in the rotor circuit with a vector control circuit, was described [8].

In order to improve the fault ride-through capabilities and crowbar dynamics of the system an internal model control controller has been proposed in [8].

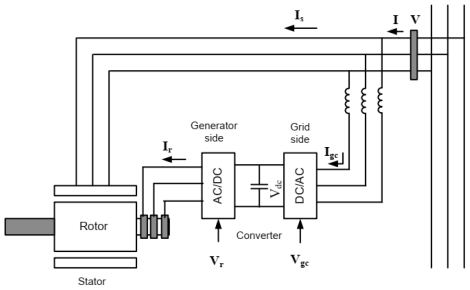


Figure 10 – DFIG based wind turbine generator system with back to back converter

Conclusions

The back to back converter is a bidirectional power converter.

The DC-link voltage can be boosted to a level higher than the amplitude of the grid line to line voltage in order to achieve full control of the grid current

The capacitor between the inverter and rectifier makes it possible to decouple the control of the two inverters, allowing the compensation of asymmetry on both the generator side and the grid side.

The component costs are low (commercially available in a module form).

Disadvantages:

The presence of the heavy and bulky DC-link capacitor increases the costs and reduces the overall lifetime of the system

Another important drawback of the back to back converter is the switching losses. Every commutation in both the grid inverter and the generator inverter between the upper and lower DC-link branch is associated with a hard switching and a natural commutation

The back to back converter consists of two inverters, so the switching losses might be even more pronounced

The high switching speed to the grid may also require extra EMI-filters, and

The combined control of the controlled rectifier and inverter is quite complicated.

References

1 **Сейтказин, С. Б., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Шапкенов, Б. К., Бектурсунова, М. С.** Жел-күн электрлік станциялар : Монография − Павлодар : Кереку, 2019., 175 бет. ISBN 978-601-238-894-4.

2 **Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б., Нефтисов, А. В., Волгин, М. Е., Бейсембаев, Б. У.** Топология

силовой части многоуровневых преобразователей электрической энергии для автономных электроэнергетических систем, «XIX Сәтбаев оқулары» жас ғалымдар, магистранттар, студенттер мен мектеп оқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары Академик Қ. И. Сәтбаевтың 120 жылдығына арналған. – Павлодар : С. Торайғыров атындағы ПМУ, 2019. ISBN 978-601-238-907-4 Т. 12 «Студенттер». – 2019. – 296 б. с. 155-162ISBN 978-601-238-919-7.

3 **Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б., Жумадирова, А. К., Бейсембаев, Б. У.** Анализ требований, предъявляемых к системам автономного электропитания с учетом обеспечения электромагнитной совместимости, с«XIX Сәтбаев оқулары» жас ғалымдар, магистранттар, студенттер мен мектеп оқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары Академик Қ. И. Сәтбаевтың 120 жылдығына арналған. – Павлодар : С. Торайғыров атындағы ПМУ, 2019. ISBN 978-601-238-907-4 Т. 21 «Жас ғалымдар». – 2019. – 420 б. ISBN 978-601-238-930-2.

4 **Кислов, А. П., Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К.** Необходимость применения аккумуляторных накопителей в электроснабжении на основе возобновляемых источников // ПМУ хабаршысы=Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. – 2014. – № 2. – С. 112–117.

5 **Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Жумадирова, А. К., Шахман, Е. Т.** Энергоэффективные ветрогенераторы с улучшенными энергетическими показателями. Сборник Международной научно-практической конференции «YII Торайгыровские чтения. Качество жизни в Павлодарской области. Состояние и перспективы», посвященной 55-летию Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова. – Павлодар: 2015 г., т. 5, с. 293–298. ISBN 978-601-238-552-6.

6 **Кайдар, А. Б., Копырин, В. С., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П.** Экспериментальные исследования инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения в возобновляемыми источниками энергии // ПМУ хабаршысы=Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. – 2014. – № 3. – С. 137–143.

7 **Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П.** Оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии // ПМУ хабаршысы=Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. – 2014. – № 3. – С. 129–137.

8 **Sarsikeyev, Y. Zh., Kaidar, A. B., Lukutin, B. V., Obukhov, S. G., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Shapkenov, B. K., Akayev, A. M., Sarsikeyev, Y. Zh.** Turbulent wind component using Kaimal s function = Турбулентная составляющая ветра с функцией Kaimal // ПМУ хабаршысы=Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. – 2014. – № 4. – Р. 120–125.

References

1 **Sejtkazin, S. B., Kajdar, A. B., Kajdar, M. B., Shapkenov, B. K., Bektursunova, M. S.** Zhel-kyn e`lektrlik stanciyalar [Seitkazin, S. B., Kaidar, A. B., Kaidar, M. B., Shapkenov, B. K., Bektursunova, M. S. Zhel-kun elektrlik stantsiyalar] Monografiya − Pavlodar : Kereku, 2019., 175 bet. ISBN 978-601-238-894-4.

2 **Shapkenov, B. K., Markovskij, V. P., Kislov, A. P., Kajdar, M. B., Kajdar, A. B., Neftisov, A. V., Volgin, M. E., Bejsembaev, B. U.** Topologiya silovoj chasti mnogourovnevy`x preobrazovatelej e`lektricheskoj e`nergii dlya avtonomny`x e`lektroe`nergeticheskix sistem [Shapkenov, B. K., Markovsky, V. P., Kislov, A. P., Kaidar, M. B., Kaidar, A. B., Neftisov, A.V., Volgin, M. E., Beisembayev, B. U. Topology of the power part of multi-level electric energy converters for autonomous electric power systems] «XIX Sətbaev oқulary`» zhas ғaly`mdar, magistranttar, studentter men mektep oқushy`lary`ny`ң : xaly`қar. ғy`l. konf. mat-dary` Akademik Қ. I. Sətbaevty`ң 120 zhy`ldy`ғy`na arnalғan. – Pavlodar : S. Torajғy`rov aty`ndaғy` PMU, 2019. ISBN 978-601-238-907-4 T. 12 «Studentter». – 2019. – 296 b. s. 155-162ISBN 978-601-238-919-7.

3 **Kislov, A. P., Shapkenov, B. K., Markovskij, V. P., Kajdar, M. B., Kajdar, A. B., Zhumadirova, A. K., Bejsembaev, B. U.** Analiz trebovanij, pred``yavlyaemy`x k sistemam avtonomnogo e`lektropitaniya s uchetom obespecheniya e`lektromagnitnoj sovmestimosti [Kislov, A. P., Shapkenov, B. K., Markovsky, V. P., Kaidar, M. B., Kaidar, A. B., Zhumadirova, A. K., Beisembayev, B. U. Analysis of the requirements for autonomous power supply systems taking into account the provision of electromagnetic compatibility] «XIX Sətbaev oқulary`» zhas ғaly`mdar, magistranttar, studentter men mektep oқushy`lary`ny`ң : xaly`қar. ғy`l. konf. mat-dary` Akademik Қ. I. Sətbaevty`ң 120 zhy`ldy`ғy`na arnalғan. – Pavlodar : S. Torajғy`rov aty`ndaғy` PMU, 2019. ISBN 978-601-238-907-4 T. 21 «Zhas ғaly`mdar». – 2019. – 420 b. ISBN 978-601-238-930-2.

4 **Kislov, A. P., Kajdar, A. B., Markovskij, V. P., Shapkenov, B. K.** Neobxodimost` primeneniya akkumulyatorny`x nakopitelej v e`lektrosnabzhenii na osnove vozobnovlyaemy`x istochnikov [Kislov, A. P., Kaidar, A. B., Markovsky, V. P., Shapkenov, B. K. The necessity of using accumulator accumulators in power supply based on renewable sources] // PMU xabarshy`sy`=Vestnik PGU. Ser. E`nergeticheskaya. – 2014. – № 2. – S. 112–117.

5 **Kajdar, A. B., Shapkenov, B. K., Kislov, A. P., Markovskij, V. P., Zhumadirova, A. K., Shaxman, E. T.** E`nergoe`ffektivny`e vetrogeneratory` s uluchshenny`mi e`nergeticheskimi pokazatelyami. [Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Zhumadirova, A. K., Shakhman, E. T. Energy-efficient wind generators with improved energy performance] Sbornik Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «YII Torajgy`rovskie

chteniya. Kachestvo zhizni v Pavlodarskoj oblasti. Sostoyanie i perspektivy`», posvyashhennoj 55-letiyu Pavlodarskogo gosudarstvennogo universiteta imeni S. Torajgy`rova. – Pavlodar: 2015 g., t. 5, s. 293–298. ISBN 978-601-238-552-6.

6 **Kajdar, A. B., Kopy`rin, V. S., Shapkenov, B. K., Markovskij, V. P.** E`ksperimental`ny`e issledovaniya invertora s shirotno-impul`snoj modulyaciej dlya sistem e`lektrosnabzheniya v vozobnovlyaemy`mi istochnikami e`nergii [Kaidar, A. B., Kopyrin, V. S., Shapkenov, B. K., Markovsky, V. P. Experimental studies of an inverter with pulse-width modulation for power supply systems in renewable energy sources] // PMU xabarshy`sy`=Vestnik PGU. Ser. E`nergeticheskaya. – 2014. – № 3. – S. 137–143.

7 **Kajdar, A. B., Shapkenov, B. K., Markovskij, V. P.** Ocenka srednix i dejstvuyushhix znachenij toka, moshhnosti staticheskix poter` na e`tapax kommutacii invertora s shirotno-impul`snoj modulyaciej dlya sistem e`lektrosnabzheniya s vozobnovlyaemy`mi istochnikami e`nergii [Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K., Markovsky, V. P. Evaluation of average and effective values of current, power of static losses at the switching stages of an inverter with pulse-width modulation for power supply systems with renewable energy sources] // PMU xabarshy`sy`=Vestnik PGU. Ser. E`nergeticheskaya. – 2014. – № 3. – S. 129–137.

8 **Sarsikeyev, Y. Zh., Kaidar, A. B., Lukutin, B. V., Obukhov, S. G., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Shapkenov, B. K., Akayev, A. M., Sarsikeyev, Y. Zh.** Turbulent wind component using Kaimal s function = Turbulentnaya sostavlyayushhaya vetra s funkciej Kaimal [Sarsikeyev, Y. Zh., Kaidar, A. B., Lukutin, B. V., Obukhov, S. G., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Shapkenov B. K., Akayev, A. M., Sarsikeyev, Y. Zh. Turbulent wind component using Kaimal s, function = Turbulent wind component with the function Kaimal] // PMU xabarshy`sy`=Vestnik PGU. Ser. E`nergeticheskaya. – 2014. – № 4. – P. 120–125.

Material received on 19.03.21.

С. К. Шерьязов[1], С. С. Исенов[2], А. В. Қайдар[3]

Желді турбиналарға энергия конвертерлерінің эволюциясы

[1]Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті,
Ресей Федерациясы, Челябі қ.;
[2]Қазақ агротехникалық университеті С. Сейфуллин,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.;
[3]«Alstom, EKZ» компаниясы,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

Материал 19.03.21 баспаға түсті.

С. К. Шерьязов[1], С. С. Исенов[2], А. В. Кайдар[3]

Эволюция преобразователей энергии для ветровых турбин

[1]Южно-Уральский государственный аграрноый университет,
Российская Федерация, г. Челябинск;
[2]Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан;
[3]Компания «Alstom, EKZ»,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

Жел генераторы жүйесі генератор жиілігі мен желінің кернеуін реттеуге қабілетті қуат түрлендіргіші деп аталатын қуатты конверсиялау тізбегін қажет етеді. Соңғы онжылдықта түрлендіргіш топологияның бірнеше түрі жасалды; олардың әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Қазіргі кезде өндірістік жел турбиналарында негізінен екі конвертерлік топология қолданылады. Ұсынылатын түрлендіргіштердің көпшілігі қуат сапасын жақсарту және кернеу деңгейін сәйкесінше көтеру үшін желілік сүзгілер мен трансформаторларды қажет етеді. Бұл ауыр және көлемді компоненттер мұнара құрылысына, турбинаны монтаждау мен қызмет көрсету шығындарына айтарлықтай қосады. Жартылай өткізгіштер мен магниттік материалдардың соңғы жетістіктері қуат түрлендіргіштерінің көлемін, салмағын және құнын төмендету үшін мүмкін шешім бола алатын жаңа түрлендіргіш конструкцияларын жасауға әкелді. Бұл мақалада энергия түрлендіргіштің технологиясы, жүргізіліп жатқан зерттеулер мен әзірлемелер терең зерттелген.

Кілтті сөздер: жел генераторы, күштік түрлендіргіштер, зерттеулер мен әзірлемелер, заманауи аспаптар мен материалдар.

Система ветрогенератора требует схемы преобразования энергии, называемой преобразователем мощности, которая способна регулировать частоту генератора и напряжение в сети. За последние десятилетия было разработано несколько типов топологий преобразователей; у каждого из них есть свои достоинства и недостатки. В настоящее время в промышленных ветряных турбинах используются в основном две топологии преобразователей. Для большинства предлагаемых преобразователей требуются сетевые фильтры и трансформаторы для улучшения качества электроэнергии и соответствующего повышения уровня напряжения. Эти тяжелые и громоздкие компоненты значительно

увеличивают расходы на строительство башни, установку турбины и техническое обслуживание. Последние достижения в области силовых полупроводников и магнитных материалов привели к разработке новых конструкций преобразователей, которые могут стать возможным решением для уменьшения размера, веса и стоимости преобразователей энергии. В этой статье содержится углубленное исследование технологии преобразования энергии, текущие исследования и разработки.

Ключевые слова: ветрогенератор; силовые преобразователи; исследования и разработки; современные приборы и материалы.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ

Акуов Асхат Махсотович, техника ғылымдырының кандидаты, аға оқытушы, «Металлургия, тау-кен және мұнай-газ ісі» кафедрасы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akuov.am@mail.ru

Алдияр Мадина Калыбеккызы, техника ғылымдырының магистрі, аға оқытушы, «Металлургия, тау-кен және мұнай-газ ісі» кафедрасы, Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: madinn9777@gmail.com

Алькина Алия Даулетхановна, магистр, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: alika@mail.ru

Атякшева Александра Владимировна, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: sahsa77@mail.ru

Аханов А. М., инженер, РҒҰ ЯФИ ЭМ ҚР, Алматы қ., 050000, Казақстан Республикасы

Әбділлә М. Ә., магистрант, «Физико-техникалық» факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Казақстан Республикасы, e-mail: magzhan1029@gmail.com

Әлімжан Мөлдір Хасенқызы, магистрант, 2 курс, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: Alimzhanovamoldir96@mail.ru

Әліп Ержан Байғалиұлы, магистрант, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Казақстан Республикасы, e-mail: baigalierzhan@gmail.com

Әскербеков С. Қ., ҒҚ, инженер, РҒҰ ЯФИ М ҚР, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Казақстан Республикасы

Баймаханова Айгерим Саттаровна, докторант, «Ақпараттық жүйе» мамандығы, Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

Бак Андрей Владимирович, магистрант, Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: andrewbak@mail.ru

Барзов Александр Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, жетекші ғылыми қызметкері, М. В. Ломоносов атындағы Мәскеу

мемлекеттік университеті, Мәскеу қ., 119991, Ресей Федерациясы, e-mail: a.a.barzov@gmail.com

Бейсенби Мамырбек Аукебайулы, профессор, Ақпараттық технологиялар факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: beisenbi@mail.ru

Бергузинов Асхат Нұрланұлы, PhD, қауымд. профессор (доцент), Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Богоявленская Татьяна Агедаловна, докторант, Құрылыс материалдары және технологоялары кафедрасы, Архитектура және құрылыс институты, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: t.bogoyavlenskaya88@gmail.com

Борисова Нина Гавриловна, физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор көмекшісі, Жылу электр қондырғылары кафедрасы, Жылу энергетикасы және басқару жүйелері институты, «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті», Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: borni-hpe@rambler.ru

Булатов Мади Максатович, магистрант, «Металлургия» мамандығы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: madi.bulatov@gmail.com

Герасименко Татьяна Сергеевна, техника ғылымдырының кандидаты, аға оқытушы, «Электр жабдықтарын пайдалану» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: melary-5@mail.ru

Гоненко Татьяна Владимировна, техника ғылымдырының кандидаты, доцент, Ақпараттық технологиялар және компьютерлік жүйелер факультеті, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей Федерациясы, e-mail: gonenko_t@mail.ru

Ғалым Нұрфат Мұратұлы, магистрант, «Жылу энергетикасы» мамандығы, Көлік- энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurfat.97@mail.ru

Денчик Александр Иванович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: pavlodarec99@mail.ru

Жәрдемқызы Салтанат, аға оқытушы, Авиациялық тасымалдауды ұйымдастыру және логистика кафедрасы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhardem_s@mail.ru

Жетписбаев Кайратбек Уристембекович, PhD, аға оқытушы, ЖШС «NTS Design», Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 79kairatbek@mail.ru

Жетписбаева Айнур Турсынкановна, PhD, қауымд. профессор м.а., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aigulji@mail.ru

Жумадиллаева Айнур Канадиловна, техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор, КПИ кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Султан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ay8222@mail.ru

Жумажанов Серик Каратаевич, техника ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Энергетика факультеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhumaser@mail.ru,

Жұмақанов Султан Қадырбекұлы, магистрант, «Электр энергетикасындағы менеджмент» мамандығы, Физика-техникалық факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: vendoslay@gmail.com

Жүсіпбек Ботагөз Күнібекқызы, докторант, «Ақпараттық жүйе» мамандығы, Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: botagoz.zhussipbek@ayu.edu.kz

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетикалық және компьютерлік ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Исенов Сұлтанбек Сансызбайұлы, техника ғылымдарының кандитаты, профессор, Қазақ аграрлық университеті С. Сейфуллин, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Искаков Казизат Такуадинович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, «Компьютерлік және бағдарламалық инженерия» кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: kazizat@mail.ru

Искаков Руслан Маратбекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Z05M6G3, Казақстан Республикасы, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

Кауанов Аслан Сайранович, магистрант, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kauanov.aslan@gmail.com

Келаманов Бауыржан Сатыбалдыұлы, техника ғылымдарының кандитаты, қауымд. профессор (доцент),Техникалық факультеті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kelamanov-b@mail.ru

Керибаева Талшын Бақытжанқызы, докторант, «Авиациялық техника және технология» мамандығы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: talshyn.keribayeva@gmail.com

Кисманова Айгерим Абилкасимовна, техника ғылымдарының кандитаты, РЭТ кафедрасының меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: akismanova@mail.ru

Косяков Игорь Олегович, PhD докторант, Қазақ қатынас жолдары университеті, Алматы қ., 050063, Қазақстан Республикасы, e-mail: heimmdal@mail.ru

Кубегенова Айгуль Даулетовна, докторант, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: aigul-03@mail.ru

Кусаинова Кайни Тулегеновна, техника ғылымдарының кондидаты, аға оқытушы, Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: kayny7@mail.ru

Қайдар Арғын Бауыржанұлы, техника магистрі, докторант, технологиялық өндіріс инженері, «Alstom EKZ» компаниясы, Қазақ аграрлық университеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ аграрлық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы

Қалекеева Марина Есенгелдіқызы, PhD докторант, «Авиациялық техника және технологиялар» мамандығы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы. e-mail: kalekeeva.m@mail.ru

Қалмағамбетова Айзада Шамшітқызы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Архитектура және құрылыс институты, Құрылыс материалдары және технологоялары кафедрасы, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы

Қосбаев Әлішер Мырзаятұлы, магистрант, «Жылу энергетикасы» мамандығы, Көлік-энергетика факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: alisher_097@mail.ru

Лещинская Элеонора Мироновна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: ellale50@mail.ru

Лещиснкая Элеонора Мироновна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Ғарыштық инженерия және телекоммуникация институты,

Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: e.leshinskaya@aues.kz

Литвинов Юрий Георгиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, ассоц. профессор, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: yurii-litvinov@mail.ru

Литвинов Юрий Георгиевич, физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: yurii-litvinov@mail.ru

Маймұрынова Айжан Акжолкызы, докторант, «Автоматтандыру және басқару» мамандығы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Ақпараттық технологиялар факультеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aizhan_maimurynova@mail.ru

Малдыбаев Әділхан Ласкерұлы, 2 курс магистрант, Ғарыштық инженерия және телекоммуникация институты, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.maldybayev@aues.kz

Манарбекқызы Бақытгүл, оқытушы, Авиациялық тасымалдауды ұйымдастыру және логистика кафедрасы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., 050039, Қазақстан Республикасы, e-mail: baxit.85@mail.ru

Манатбаев Рүстем Құсайынғазыұлы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Жылу физика және техникалық физика факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: rustem1977@mail.ru

Мехтиев Али Джаваншерович, техника ғылымдарының кандидаты, қауымд.профессор, Энергетика, автоматика және телекоммуникациялар факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ.,100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: barton.kz@mail.ru

Мулдашева Мөлдір Ғабитқызы, техникалық ғылымдарының магистрі, Техникалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Z05M6G3, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.muldasheva@bk.ru

Мұқашев Жандос Еркінұлы, магистрант, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Ақпараттық технологиялар факультеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhandos991@gmail.com

Нешина Елена Геннадьевна, магистр, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: 1_neg@mail.ru

Обилец Анастасия Маровна, магистрант, «Металлургия» мамандығы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: marovnaa@inbox.ru

Оразбаев Батыр Бидайбекович, техника ғылымдарының докторы, профессор, ЖТБ кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Султан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: batyr_o@mail.ru

Оразбаева Кульман Нахановна, техника ғылымдарының докторы, профессор, Менеджмент кафедрасы, Қазақ Экономика, қаржы және халықаралық сауда университеті, Нұр-Султан қ., 010005, Қазақстан Республикасы, e-mail: kulman_o@mail.ru

Паршина Галина Ивановна, PhD, аға оқытушы, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: g.parshina@kstu.kz

Полушин Максим Юрьевич, ҰҚК Академиясы, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы, e-mail: heimmdal@mail.ru

Садықбек Төлеусерік Әбішұлы, техника ғылымдарының докторы, Алматы, 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: sadykbek_ta@mail.ru

Самуратов Ерулан Кайыржанович, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, «Металлургия, «Тау-кен және мұнай-газ ісі» кафедрасы, Техникалық факультет, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., 030000, Қазақстан Республикасы, e-mail: samuratov.ek@mail.ru

Сансызбай Қанибек Мұратбекұлы, PhD, аға оқытушы, Автоматтандыру және басқару кафедрасы, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: kanibek@list.ru

Сантеева Сая Әділбайқызы, докторант, ЖТБ кафедрасы, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Нұр-Султан қ., 010008, Қазақстан Республикасы, e-mail: saya_santeeva@mail.ru

Сапақова Сая Заманбекқызы, физика-математика ғылымдарының кандидаты, ассистент-профессор, Компьютерлік инженерия және ақпараттық қауіпсіздік кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: sapakovasz@gmail.com

Сапарходжаев Нурбек Пажарбекович, PhD, қауымд. профессор, Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: nurbek.saparkhojayev@ayu.edu.kz

Сарсикеев Ермек Жасланұлы, техника ғылымдарының кандидаты, философия докторы, Энергетика факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru

Сериков Тансауле Габдыманапович, PhD, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Сичкаренко Андрей Владимирович, аға оқытушы, Энергетика, автоматика және телекоммуникация факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100000, Қазақстан Республикасы, e-mail: sichkarenko@gmail.com

Соболева Людмила Андреевна, техника ғылымдарының магистрі, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті, Нұр-Султан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: mluda777@mail.ru

Сыдықова Назым, Саматқызы, магистрант, «Ақпараттық жүйелер» мамандығы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Ақпараттық технологиялар факультеті, Алматы қ., 050040, Қазақстан Республикасы, e-mail: nazym.7@mail.ru

Талипов Олжас Манарбекович, PhD, қауымд. профессор (доцент), Энергетикалық және компьютерлік ғылымдар факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: talipov1980@mail.ru

Темирбек Айжан, докторант, Ақпараттық технологиялар факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы, e-mail: aiku08@ mail.ru

Темирбекова Айдана Ахмедовна, магистрант, 2 курс, Ғарыштық инженерия және телекоммуникация институты, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: a.temirbekova@aues.kz

Тулеуов Жасулан Наурызбаевич, Мұнай өңдеу бойынша басқарушы директор, Атырау мұнай өңдеу зауыты, Атырау қ., 010005, Қазақстан Республикасы, e-mail: Tuleuov@anpz.kz

Туманбаева Кумисай Хасеновна, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Ғарыштық инженерия және телекоммуникация институты, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: k.tumanbayeva@aues.kz

Уразалиев Канат, магистрант, «Ақпараттық жүйе» мамандығы, Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы, e-mail: ukanatm@gmail.com

Хацевский Константин Владимирович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Энергетика институты, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей Федерациясы, e-mail: xkv-post@rambler.ru

Цыба Юрий Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, ЭМЭЖ кафедрасы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Казахстан Республикасы, e-mail: tsyba.46@mail.ru

Чихрай Е. В., физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор (доцент), «Физико-техникалық» факультеті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., 050040, Казақстан Республикасы

Чныбаева Данна Максутхановна, докторант, ЭМЭЖ кафедрасы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Казахстан Республикасы, e-mail: danna_shyn@mail.ru

Шавдинова Мадина Джалалдиновна, докторант, 3 курс, «Жылу энергетикасы» мамандығы, Жылу энергетикасы және басқару жүйелері институты, Гумарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы, e-mail: shavdinova@dku.kz

Шерьязов Сэкен Қойшыбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті, Челябинск қ., 454080, Ресей Федерациясы, e-mail: sakenu@jandex.ru

СВЕДЕНИЯ О АВТОРАХ

Абдилла М. А., магистрант, Физико-технический факультет, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: magzhan1029@gmail.com

Акуов Асхат Махсотович, кандидат технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия, горное и нефтегазовое дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: akuov.am@mail.ru

Алдияр Мадина Калыбеккызы, магистр технических наук, преподаватель, кафедра «Металлургия, горное и нефтегазовое дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: madinn9777@gmail.com

Алькина Алия Даулетхановна, магистр, Факультет инновационных технологий, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: alika@mail.ru,

Аскербеков, С. К. НС, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Инженер, РГП ИЯФ МЭ РК, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

Атякшева Александра Владимировна, кандидат технических наук, PhD, ассоц. проф. (доцент), Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011 Республика Казахстан, e-mail: sahsa77@mail.ru

Аханов А. М., инженер, РГП ИЯФ МЭ РК, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

Әлімжан Мөлдір Хасенқызы, магистрант, 2 курс, специальность «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 01000, Республика Казахстан, e-mail: Alimzhanovamoldir96@mail.ru

Әліп Ержан Байғалиұлы, магистрант, специальность «Информационные системы, Факультет информационные технологий, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: baigalierzhan@gmail.com

Баймаханова Айгерим Саттаровна, докторант, специальность «Информационные системы», Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

Бак Андрей Владимирович, магистрант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: andrewbak@mail.ru

Барзов Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Московский государственный имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Российская Федерация

Бейсенби Мамырбек Аукебаевич, профессор, Факультет информационных технологии, Евразийский Национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: beisenbi@mail.ru

Бергузинов Асхат Нурланович, PhD, ассоц. профессор (доцент), Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Богоявленская Татьяна Агедаловна, докторант, Институт архитектуры и строительства, кафедра «Строительных материалов и технологий», Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: t.bogoyavlenskaya88@gmail.com

Борисова Нина Гавриловна, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра «Тепловые электрические установки», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Институт теплоэнергетики и систем управления, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: borni-hpe@rambler.ru

Ботагоз Жусипбек Кунибеккызы, докторант, специальность «Информационные системы», Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: botagoz.zhussipbek@ayu.edu.kz

Булатов Мади Максатович, магистрант, специальность «Металлургия», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: madi.bulatov@gmail.com

Галым Нурфат Муратович, магистрант, специальность «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: nurfat.97@mail.ru

Герасименко Татьяна Сергеевна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Эксплуатации электрооборудования», Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан. e.mail: melary-5@mail.ru

Гоненко Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Факультет информационных технологий и компьютерных систем, Омский государственный технический университет, г. Омск, Российская Федерация, e-mail: gonenko_t@mail.ru

Денчик Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор, Факультет инженерии, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: pavlodarec99@mail.ru

Жардемкызы Салтанат, магистр, ст. преподаватель, кафедра «Организация авиационных перевозок и логистики», Академии гражданской авиации, г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: zhardem_s@mail.ru

Жетписбаев Кайратбек Уристембекович, PhD, ст. преподаватель, ТОО «NTS Design», г. Нур-Султан, 01000, Республика Казахстан, e-mail: 79kairatbek@mail.ru,

Жетписбаева Айнур Турсынкановна, PhD, и.о. ассоц. профессора, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 01000, Республика Казахстан, e-mail: aigulji@mail.ru

Жумадиллаева Айнур Канадиловна, кандидат технических наук, ассоц. профессор, профессор кафедры, Евразийский Национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: ay8222@mail.ru

Жумажанов Серик Каратаевич, кандидат технических наук, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Энергетический факультет, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан, e-mail: zhumaser@mail.ru

Жумаканов Султан Кадырбекулы, магистрант, специальность «Менеджмент в электроэнергетике», Физико-технический факультет, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: vendoslay@gmail.com

Исабеков Даурен Джамбулович, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики и компьютерных наук, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Исенов Султанбек Сансызбаевич, кандидат технических наук, профессор, Казахский аграрный университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Искаков Казизат Такуадинович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра «Компьютерная и программная инженерия», Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстанн, e-mail: kazizat@mail.ru

Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Z05M6G3, Республика Казахстан, e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

Кайдар Аргын Бауыржанулы, магистр техники и технологий, докторант, Казахскийого аграрный университет имени С. Сейфуллина, Компания «Alstom, EKZ», г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

Калекеева Марина Есенгелдикызы, докторант, специальность «Авиационная техника и технологии», Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: kalekeeva.m@mail.ru

Калмагамбетова Айзада Шамшитовна, кандидат технических наук, доцент, Институт архитектуры и строительства, Кафедра строительных материалов и технологий, Карагандинский технический университет, г. Караганда 100000, Республика Казахстан

Кауанов Аслан Сайранович, магистрант, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: kauanov.aslan@gmail.com

Келаманов Бауыржан Сатыбалдыулы, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: kelamanov-b@mail.ru

Керибаева Талшын Бакытжанкызы, докторант, специальность «Авиационная техника и технологии», Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: talshyn.keribaeva@gmail.com

Кисманова Айгерим Абилкасимовна, кандидат технических наук, заведующий кафедры РЭТ, Казахский агротехнический университета имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: akismanova@mail.ru

Косбаев Алишер Мырзаятович, магистрант, специальность «Теплоэнергетика», Транспортно-энергетический факультет, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: alisher_097@mail.ru

Косяков Игорь Олегович, докторант PhD, Казахский университет путей сообщения, г. Алматы, 050063, Республика Казахстан, e-mail: heimmdal@mail.ru

Кубегенова Айгуль Даулетовна, докторант, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: aigul-03@mail.ru

Кусаинова Кайни Тулегеновна, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 01000, Республика Казахстан, e-mail: kayny7@mail.ru

Лещинская Элеонора Мироновна, кандидат технических наук, профессор, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: ellale50@mail.ru

Лещиснкая Элеонора Мироновна, кандидат технических наук, профессор, Институт космической инженерии и телекоммуникаций,

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: e.leshinskaya@aues.kz

Литвинов Юрий Георгиевич кандидат физико-математических наук, ассоц. профессор, Академия гражданской авиации, г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: yurii-litvinov@mail.ru

Маймурынова Айжан Акжолкызы, докторант, специальность «Автоматизация и управления», Евразийский национальный университет имени Л. М. Гумилева, Факультет информационных технологий, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: aizhan_maimurynova@mail.ru

Малдыбаев Адилхан Ласкерулы, магистрант, 2 курс, Институт космической инженерии и телекоммуникаций, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.maldybayev@aues.kz

Манарбеккызы Бакытгул, магистр, преподаватель, кафедра «Организация авиационных перевозок и логистики», Академии гражданской авиации, г. Алматы, 050039, Республика Казахстан, e-mail: baxit.85@mail.ru

Манатбаев Рустем Кусаингазыевич, кандидат технических наук, ст. преподаватель, Факультет Теплофизики и технической физики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: rustem1977@mail.ru

Мехтиев Али Джаваншерович, кандидат технических наук, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникации, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: barton.kz@mail.ru,

Мулдашева Молдир Габитовна, магистр технических наук, Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, г. Нур-Султан, Z05M6G3, Республика Казахстан, e-mail: m.muldasheva@bk.ru

Мұқашев Жандос Еркінұлы магистрант, специальность «Информационные системы», Факультет информационные технологий, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: zhandos991@gmail.com

Нешина Елена Геннадьевна, магистр, Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: 1_neg@mail.ru,

Обилец Анастасия Маровна, магистрант, специальность «Металлургия», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан e-mail: marovnaa@inbox.ru

Оразбаев Батыр Бидайбекович, доктор технических наук, профессор, кафедра САУ, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: batyr_o@mail.ru

Оразбаева Кульман Нахановна, доктор технических наук, профессор, кафедра Менеджмент, Казахский университет Экономики, Финансов и международной торговли, г. Нур-Султан, 010005, Республика Казахстан, e-mail: kulman_o@mail.ru

Паршина Галина Ивановна, доктор PhD, ст. преподаватель. Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: g.parshina@kstu.kz

Полушин Максим Юрьевич, Академия КНБ, г. Алматы, 050023, Республика Казахстан, e-mail: heimmdal@mail.ru

Садыкбек Толеусерик Абишулы, доктор технических наук, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: sadykbek_ta@mail.ru

Самуратов Ерулан Кайыржанович, кандидат технических наук, ст. преподаватель, кафедра «Металлургия, горное и нефтегазовое дело», Технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, 030000, Республика Казахстан, e-mail: samuratov.ek@mail.ru

Сансызбай Канибек Муратбекулы, ст. преподаватель, кафедра Автоматизация и управление, Академия логистики и транспорта, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: kanibek@list.ru

Сантеева Сая Адилбайкызы, докторант, кафедра САУ, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010008, Республика Казахстан, e-mail: saya_santeeva@mail.ru

Сапакова Сая Заманбековна, кандидат физико-математических наук, ассистент-профессор, кафедра Компьютерной инженерии и информационной безопасности, Международный университет информационных технологий, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: sapakovasz@gmail.com

Сапарходжаев Нурбек Пажарбекович, PhD, ассоц. профессор, Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: nurbek.saparkhojayev@ayu.edu.kz

Сарсикеев Ермек Жасланович, кандидат технических наук, доктор философии, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru,

Сериков Тансауле Габдыманапович, доктор PhD, ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 01000, Республика Казахстан, e-mail: tansaule_s@mail.ru,

Сичкаренко Андрей Владимирович, ст. преподаватель. Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникаций, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100000, Республика Казахстан, e-mail: sichkarenko@gmail.com

Соболева Людмила Андреевна, магистр технических наук, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: mluda777@mail.ru

Сыдықова Назым Саматқызы, магистрант, специальность «Информационные системы», Факультет информационных технологий, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан, e-mail: nazym.7@mail.ru

Талипов Олжас Манарбекович, PhD, ассоц. профессор (доцент), Факультет энергетики и компьютерных наук, Торайгыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: talipov1980@mail.ru

Темирбек Айжан, PhD докторант, Факультет информационных технологии, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан, e-mail: aiku08@ mail.ru

Темирбекова Айдана Ахмедовна, магистрант, 2 курс, Институт космической инженерии и телекоммуникаций, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: a.temirbekova@aues.kz

Тулеуов Жасулан Наурызбаевич, Управляющий директор по переработке нефти, Атырауский нефтепере-рабатывающий завод, г. Атырау, 010005, Республика Казахстан, e-mail: Tuleuov@anpz.kz

Туманбаева Кумисай Хасеновна, кандидат технических наук, профессор, Институт космической инженерии и телекоммуникаций, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: k.tumanbayeva@aues.kz

Уразалиев Канат, магистрант, специальность «Информационные системы», Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан, e-mail: ukanatm@ gmail.com

Хацевский Константин Владимирович, доктор технических наук, профессор, Энергетический институт, Омский государственный технический университет, г. Омск, Российская Федерация, e-mail: xkv-post@rambler.ru

Цыба Юрий Александрович, кандидат технических наук, профессор, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: tsyba.46@mail.ru;

Чихрай, Е. В., кандидат физико-математических наук, ассоц. профессор (доцент), Физико-технический факультет, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, 050040, Республика Казахстан

Чныбаева Данна Максутхановна, докторант, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан, e-mail: danna_shyn@mail.ru

Шавдинова Мадина Джалалдиновна, докторант, 3 курс, специальность «Теплоэнергетика», Институт теплоэнергетики и систем управления, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан, e-mail: shavdinova@dku.kz

Шерьязов Сакен Койшыбаевич, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, 454080, Российская Федерация, e-mail: sakenu@jandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abdilla, M. A., undergraduate student, Faculty of Physics and Technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: magzhan1029@gmail.com

Akhanov A. M., engineer, RSE INP ME RK, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

Akuov Askhat Makhsotovich, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, Department of «Metallurgy, Mining and Oil and Gas industry», Faculty of Technology, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akuov.am@mail.ru

Aldiyar Madina Kalybekkyzy, Master of Technical Sciences, Department of «Metallurgy, Mining and Oil and Gas industry», Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Faculty of Technology, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: madinn9777@gmail.com

Alimzhan Moldir Khassenkyzy, undergraduate student, 2nd year, specialty «Radio Engineering, Electronics and Telecommunications», S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, 01000, Republic of Kazakhstan, e-mail: Alimzhanovamoldir96@mail.ru

Alip Yerzhan Baigaliuly, undergraduate student, Information Systems, Faculty of Information Technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: baigalierzhan@gmail.com

Alkina Aliya Dauletkhanovna, Master, Faculty of Innovative Technologies, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: alika@mail.ru

Askerbekov, S. K., researcher, Engineer, RSE INP ME RK, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan

Atyaksheva Alexandra Vladimirovna, PhD, associate professor, Energy Faculty, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sahsa77@mail.ru

Baimakhanova Aigerim Sattarovna, doctoral student, «Information Systems», K. A. Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

Bak Andrey Vladimirovich, undergraduate student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: andrewbak@mail.ru

Barzov Aleksandr Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, professor, head scientist Researcher, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation, e-mail: a.a.barzov@gmail.com

Beisenbi Mamyrbek Aukebaevich, professor, Faculty of Information Technology, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: beisenbi@mail.ru

Berguzinov Askhat Nurlanovich, PhD, associate professor, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru

Bogoyavlenskaya Tatyana Agedalovna, PhD student, Institute of Architecture and Building, Department of Construction Materials and Technologies, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: t.bogoyavlenskaya88@gmail.com

Borissova Nina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Almaty University of Power Engineering and Communications named after Gumarbek Daukeev, Institute of Heat Power Engineering and Control Systems, Department of Thermal Electrical Installations, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: borni-hpe@rambler.ru

Botagoz Zhussipbek Kunibekkyzy, doctoral student, Information Systems, K. A. YassawiInternational Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: botagoz.zhussipbek@ayu.edu.kz

Bulatov Madi Maksatovich, undergraduate student, Metallurgy, Faculty of Technology, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: madi.bulatov@gmail.com

Chikhray, Ye. V., Candidate of Physico-Mathematical Sciences, associate professor, Faculty of Physics and Technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan

Chnybayeva Danna Maksutkanovna, doctoral student, Department of EMED, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: danna_shyn@mail.ru

Denchik Aleksandr Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, professor, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: pavlodarec99@mail.ru

Galym Nurfat Muratuly, undergraduate student, specialty «Thermal engineering», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurfat.97@mail.ru

Gerasimenko Tatiana Sergeevna, PhD, senior lecturer, Department of «Operation of electrical equipment», S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: melary-5@mail.ru

Gonenko Tatyana Vladimirovna, PhD of Technical Science, docent, Faculty of Information Technology and Computer Systems, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, e-mail: gonenko_t@mail.ru

Iskakov Kazizat Takuadinovish, Doctor of Physical and Mathematical Sciences professor, Department of Computer and Software Engineering, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kazizat@mail.ru

Iskakov Ruslan Maratbekovich, Candidate of Technical Sciences (PhD), associate professor (docent), Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, Z05M6G3, Republic of Kazakhstan, e-mail: rus. iskakov79@mail.ru

Issabekov Dauren Dzhambulovich, PhD, associate professor, Faculties of Energy and Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: Dauren_pvl2012@mail.ru

Issenov Sultanbek Sansyzbayevich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Dean of the Faculty of Energy, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: isenov_sultan@mail.ru

Kaidar Argyn Bauyrzhanuly, Master of Energy and Technology, engineer of technological production, Company «Alstom, EKZ», doctoral student, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: argin_.intel@mail.ru

Kelamanov Bauyrzhan Satybaldyuly, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Faculty of Engineering, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kelamanov-b@mail.ru

Kalekeyeva Marina, doctoral student «Aviation Engineering and Technology», Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: kalekeeva.m@mail.ru

Kalmagambetova Aizada Shamshitovna, Candidate of Technical Sciences, docent, Institute of Architecture and Building, Department of Construction Materials and Technologies, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan

Kanat Urazaliyev, undergraduate student, «Information Systems», K. A. Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: ukanatm@gmail.com

Kauanov Aslan Sairanovich, undergraduate student, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kauanov.aslan@gmail.com

Keribayeva Talshyn Bakitzhanovna, doctoral student, «Aviation Engineering and Technology», Civil Aviation Academy, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: talshyn.keribayeva@gmail.com

Khatsevskiy Konstantin Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences professor, Power Engineering Institute, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, e-mail: xkv-post@rambler.ru

Kismanova Aigerim, Candidate of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: akismanova@mail.ru

Kosbayev Alisher Myrzayatovich, undergraduate student, specialty «Thermal engineering», Faculty of Transport and Energy, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: alisher_097@mail.ru

Kossyakov Igor Olegovich, NSC Academy, Almaty, 050023, Republic of Kazakhstan, e-mail: heimmdal@mail.ru

Kubegenova Aigul Dauletovna, PhD student, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: aigul-03@mail.ru

Kussainova Kaini Tulegenovna, Candidate of Technical Sciences, senior teacher, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 01000, Republic of Kazakhstan, e-mail: kayny7@mail.ru

Lechshinskaya E. M., Candidate of Engineering Sciences professor, Institute of Space Engineering and Telecommunications, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: e.leshinskaya@aues.kz

Leshchinskaya Eleonora Mironovna, Candidate of Tehnical Sciences, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: ellale50@mail.ru

Litvinov Yuri Georgievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Civil Aviation Academy, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: yurii-litvinov@mail.ru

Litvinov Yurii, PhD, associate professor, Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: yurii-litvinov@mail.ru

Maimurynova Aizhan Akzholkyzy, doctoral student, «Automation and Control», L. N. Gumilyov Eurasian National University, Faculty of Information Technologies, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aizhan_maimurynova@mail.ru

Maldybayev, A. L., undergraduate student, 2nd year, Institute of Space Engineering and Telecommunications, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.maldybayev@aues.kz

Manarbekkyzy Bakytgul, Master, teacher, Department «Organization of Air Transport and Logistics», Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: baxit.85@mail.ru

Manatbayev Rustem Kusaingazyevich, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, Faculty of Thermal Physics and Technical Physics, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: rustem1977@mail.ru

Mekhtiyev Ali Javanshirovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Faculty of Energy, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: barton.kz@mail.ru,

Mukashev Zhandos Yerkinuly, undergraduate student, «Information Systems», Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Information Technology, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhandos991@gmail.com

Muldasheva Moldir Gabitovna, Master of Technical Sciences, Technical Faculty, S. Seifullina Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, Z05M6G3, e-mail: m.muldasheva@bk.ru

Neshina Yelena Gennadievna, Master, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 1_neg@mail.ru

Obilic Anastasia Marova, undergraduate student, «Metallurgy», Faculty of Technology, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: marovnaa@inbox.ru

Orazbayev Batyr Bidaybekovich, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of SAC, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: batyr_o@mail.ru

Orazbayeva Kulman Nakhanovna, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Management, Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, 010005, Republic of Kazakhstan, e-mail: kulman_o@mail.ru

Parshina Galina Ivanovna, PhD, senior lecturer, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: g.parshina@kstu.kz

Polushin Maxim Yuryevich, Academy, Almaty, 050023, Republic of Kazakhstan, e-mail: heimmdal@mail.ru

Sadykbek Toleuserik Abishuly, Doctor of Technical sciences, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: sadykbek_ta@mail.ru

Samuratov Yerulan Kayirzhanovich Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, Department of «Metallurgy, Mining and Oil and Gas industry», Aktobe

Regional University named after K. Zhubanov, Faculty of Technology, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan, e-mail: samuratov.ek@mail.ru

Sansyzbay Kanibek, PhD, senior lecturer, Department of Automation and Management, Academy of Logistics and Transport, Almaty,140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kanibek@list.ru

Santeeva Saya Adilbaykyzy, doctoral student, Department of SACL, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: saya_santeeva@mail.ru

Sapakova Saya Zamanbekovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor, International University of Information Technology, Department of Computer Engineering and Information Security, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: sapakovasz@gmail.com

Saparkhojayev Nurbek Pajarbekovich, PhD, associate professor, K. A. Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan, e-mail: nurbek.saparkhojayev@ayu.edu.kz

Sarsikeyev Yermek Zhaslanovich, Candidate of Technical Sciences, Doctor of Philosophy, Faculty of Energy, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: sarsikeyev.ermek@yandex.ru

Serikov Tansaule Gabdymanapovish, PhD, senior teacher, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 01000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tansaule_s@mail.ru

Shavdinova Madina, doctoral student, 3rd year, specialty «Heat Power Engineering», Institute of Heat Power Engineering and Control Systems, Almaty University of Power Engineering and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan, e-mail: shavdinova@dku.kz

Sheryazov Saken Koishybayevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Department «Energy Supply and Automation of technological Processes», South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation, e-mail: sakenu@jandex.ru

Sichkarenko Andrey Vladimirovich, senior teacher, Faculty of Energy, Automation and Telecommunications, Karaganda Technical University, Karaganda, 100000, Republic of Kazakhstan, e-mail: sichkarenko@gmail.com

Soboleva Lyudmila Andreyevna, Master of Technical Sciences, Faculty of Energy, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: mluda777@mail.ru

Sydykova Nazym Samatkyzy, undergraduate student, «Information, Systems», Faculty of Information Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: nazym.7@mail.ru

Talipov Oljas Manarbekovich, PhD, associate professor, Faculty of Energy and Computer Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: talipov1980@mail.ru

Temirbek Aizhan, doctoral student, specialty «Automation and Control», Faculty of Information Technologies, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aiku08@mail.ru

Temirbekova A. A., undergraduate student, 2nd year, Institute of Space Engineering and Telecommunications, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.temirbekova@aues.kz

Tsyba Yuri Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, professor, Department of EMED, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: tsyba.46@mail.ru

Tuleuov Zhasulan Nauryzbaevich, Managing Director for Oil Refining, Atyrau Oil Refinery, Atyrau, 060012, Republic of Kazakhstan, e-mail: Tuleuov@anpz.kz

Tumanbayeva K. H., Candidate of Engineering Sciences professor, Institute of Space Engineering and Telecommunications, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan, e-mail: k.tumanbayeva@aues.kz

Zhardemkyzy Saltanat, master, senior lecturer, Department «Organization of Air Transport and Logistics», Civil Aviation Academy, Almaty, 050039, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhardem_s@mail.ru

Zhetpisbayev Kairatbek Uristimbekovish, PhD, senior teacher, LLP «NTS Design», Nur-Sultan, 01000, Republic of Kazakhstan, e-mail: 79kairatbek@mail.ru

Zhetpisbayeva Ainur Tursinkanovna, PhD, associate professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, 01000, Republic of Kazakhstan, e-mail: aigulji@mail.ru

Zhumadillayeva Ainur Kanadilovna, PhD, Associate professor, Department of KPI, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ay8222@mail.ru

Zhumakanov Sultan Kadyrbekuly, undergraduate student, «Management in the Electric Power Industry», Faculty of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan, e-mail: vendoslay@gmail.com

Zhumazhanov Serik Karataevich, Candidate of Technical Sciences, Faculty of Energy, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhumaser@mail.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ («ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА», «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 либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

***Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензензирование 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями

30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать 12 страниц печатного текста. Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI после МРНТИ** в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество** (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (жирным шрифтом, по центру), **главного автора пометить символом (*)**;

4 **Ученую степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов,

курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5–8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

10 **Основной текст** статьи излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

– **Введение / Кіріспе / Introduction** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

– **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

– **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

– **Информацию о финансировании** (при наличии)(абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

– **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

– **Список использованных источников** / Пайдаланған деректер тізімі / References (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре). Включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Рекомендуемый объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации,** перечень рисунков и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

<u>На отдельной странице (после статьи)</u>

В электронном варианте приводятся <u>полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail</u> (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются);

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Информация для авторов

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайгыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензензирование 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;

- второй квартал до 10 мая;

- третий квартал до 10 августа;

- четвертый квартал до 10 ноября.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на электронный адрес: E-mai1: **<u>kereku@tou.edu.kz</u>**

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,
НАО «Торайгыров университет»,
Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.
Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).
E-mai1: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование –Оплата за ВУЗы –Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jýsan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxx

С. К. Антикеева
Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в

модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.

2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.

3 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.

4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.

5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.

6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.

7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.

8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.

9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effectivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.

2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.

3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod к ecologicheskomu obrazovaniu i vospitaniu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.

4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.

5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p. c.

6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.

7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – T. 2 – P. 11–20.

8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKиPRO, 2005. – 230 p.

9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov к rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300- Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.

10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraigyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің құзіреттіліктерін қалыптастырудың теориялық моделі

Торайғыров университет,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

S. K. Antikeyeva

Theoretical model of formation competencies of social workers through professional development courses

Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзыреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада

модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзыреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзыреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзыреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзыреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see

in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант Торайғыров университеті, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология», Торайгыров университет, Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeyeva doctoral student in «Pedagogy and psychology»,Toraighyrov University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeyeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА НАУЧНОГО ЖУРНАЛА («ВЕСТНИК ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА», «КРАЕВЕДЕНИЕ»)

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Наука и техника Казахстана» и «Краеведение» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и 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.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимися рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегию Журнала.

Теруге 19.03.2021 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2021 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
17,4 Mb RAM
Шартты баспа табағы 21,0. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева
Корректор: А. Р. Омарова
Тапсырыс № 3746

Сдано в набор 19.03.2021 г. Подписано в печать 29.03.2021 г.
Электронное издание
17,4 Mb RAM
Усл. печ. л. 21,0. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева
Корректор: А. Р. Омарова
Заказ № 3746

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
8 (7182) 67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik.tou.edu.kz