

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

ШМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

№ 2 (2019)

Павлодар

МАЗМҰНЫ**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

Энергетическая серия

выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О постановке на учет, переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 17022-Ж

выдано

Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Тематическая направленность

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

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Нефтисов А. В., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

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

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

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна

© ПГУ имени С. Торайгырова

Абдрахманов Р. Б., Рустамов Н. Т.

Ұйымдастыру жүйелерінде фракталды жоспарлау процедураларының
мәселелері 15

Азаматов М. Т., Андреева О. А.

Электрондық құжат айналымы жүйесінің жұмысын оңтайландыру –
бизнес-процестерді жетілдіру процесі ретінде 28

Амриев Р. А., Бейсенов Д. Г.

«ПНХЗ» ЖШС-де каталитикалық крекинг шикізатын гидротазарту
процесіне жеңіл және ауыр газойлының әсерін талдау 34

Андреева О. А., Гоненко Т. В.

Асинхронды қозғалтқыштың зақымдануын диагностикалау
үшін соңғы элементтер әдісімен сыртқы магнит өрісін
компьютерлік модельдеуді қолдану 41

Ауельбек М. А., Исенов С. С., Нуржан Н. Н.

Қазақстанның электр энергетикалық нарығын жетілдіру арқылы электр
энергиясының шығындарын азайту жөніндегі шараларды әзірлеу 53

Волгина Е. М., Новожилов А. Н., Колесников Е. Н., Новожилов Т. А.

Үшфазалы үшорамды трансформаторды үлгілеу 62

Герасименко Т. С., Акимжанов Т. Б.

Кернеуі 0,38 кВ электр тораптарындағы кернеу симметриясыздығын
тәжірибелік зерттеу 75

Денисюк А. В.

Тестілеудің тәуелсіздігін бақылау үшін СКД мониторларының
акустикалық криптоализаторларын қолдану 86

Дробинский А. В., Уразалимова Д. С.

Қатты карбон отынды дайындаудың технологиялары мен әдістері 92

Елубай М. А., Оспанбек С. О.

Сұйық пропанмен гудрондарды деасфальтсыздандыру
үдерісін зерттеу 100

Елубай М. А., Оспанбек С. О.

Бір сатылы немесе екі сатылы схемалар бойынша
деасфальттау процесстерін зерттеу 109

Есенғалиев Д. А., Байсанов С. О., Исагулов А. З., Байсанов А. С.

«Үшқатын III» бастапқы марганец кендерін петрографиялық зерттеу 122

Жумадилова А. Ш.

Көмірді құнарлатудың құрғақ әдісін қолдану перспективалары 128

Жумалинов Е. А.

Павлодар қаласының лай және қалдық суларын жою және талдау 136

Зилгараева Ә. К., Смайлов Н. К.

Инвазивті емес глюкозаны мониторингілеу:
мәселелер мен алғы жетістіктерге шолу 143

Ивель В. П., Иванищев А. А.
Ұнтақ қосылыстарының тұндыру кезінде бу турбиналық пышақтардың температурасын тұрақтандыру жүйесін әзірлеу152

Исенов С. С., Исенов Ж. С., Нуржан Н. Н.
Микропроцессорлық басқарылатын көп қозғалтқышты электр жетегінің принципті электр сұлбасын әзірлеу164

Исенов С. С., Исенов Ж. С., Нуржан Н. Н.
Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін басқарудың микропроцессорлық құралдарына арналған Петри желісі негізінде жұмыс алгоритмін әзірлеу170

Исупова Н. А., Нукенов К. К.
Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерін талдау және оларды дамыту перспективалары179

Исупова Н. А., Аязбаева А. Д.
Қазақстанда геотермалдық энергетиканы дамыту келешегі192

Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П.
Жиілікті басқару әдісі немесе тәуелсіз, дербес және сымсыз басқару199

Калдыбаев Р. Т., Степанов С. Г., Арипбаева А. Е., Мирзамуратова Р. Ш., Жунисбекова Д.
Маталы амирленген өрт сөндіру түтігінің жіптерінің арасындағы байланысындағы параметрлерін және аймағын зерттеу209

Кислов А. П., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Кусаинов Д. И.
KAZ MINERALS МКҚ желілерін оңтайландыру220

Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б.
Жиілік басқарылатын электр жетектерінің генерацияланған гармоникасының деңгейін төмендету229

Копишев Э. Е., Сулейменов И. Э., Пак И. Т., Шалтыкова Д. Б., Матрасулова Д., Бакиров А., Молдахан И., Копишев И. Е.
Нейрондық желілердің жұмыс істеуі шуылға төзімді кодтардың теориясы тұрғысынан241

Крикунов М. Е., Калиев Т. А., Дюсекенова У.С., Байкен А.
Вакуумдық газойльді гидрокүкіртсіздендіру процессімен байланысты мәселелер257

Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Таліров О. М.
MATLAB / SimPowerSystem-дің DFIG-ді қолдану арқылы модель және модельдеу айнаымалы жел турбины пайдалану265

Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Садвокасова Г. М., Рахимбердинова Д. М.
Металлургиялық өндірісінің технологиялық процессі үшін автоматтандырылған басқару жүйесінің математикалық моделін әзірлеу271

Нефтисов А. В., Солтанбекова А. Р., Говорун О. В.
Жылдық жүйелерді автоматты түрде аспектілердің есептемелерін жүзеге асыру процесі277

Новожилов А. Н., Рахимбердинова Д. М., Новожилов Т. А.
Бекітілген ылғалдылық трансфератының бірінші органдардың моделдігі283

Новожилов А. Н., Юсупова А. О., Новожилов Т. А.
Атталық өлшеу түрлендіргіші бар индукциялық қозғалтқыштың роторының эксцентрическом диагностикалық жүйесіне зиян келтіретін ақпараттық белгісін таңдау293

Приходько Е. В., Оришевская Е. В., Беркетов С. С.
Әкімшілік ғимараттардың инфильтрациялық шығындарын азайту жөніндегі іс-шараларды талдау302

Сағажитбекова Д. Е., Балабаева Т. Т., Рамазанова М. С.
IT-технологиялар – біздің болашағымыз311

Серіков Т. Ф., Құдайберген А. М.
Виженер және Цезарь криптографиясына негізделген криптография түрі318

Серіков Т. Ф., Құрманбай Н. М.
ASCII коды негізіндегі криптографиялаудың жаңа үлгісі324

Сулейменов И. Э., Копишев Э. Е., Пак И. Т., Бакиров А., Молдахан И., Сапанова Э., Копишев И. Е.
Нейрондық желілердің салмағын дискреттеу331

Талипов О. М., Бергузин А. Н., Оришевская Е. В., Базарбаев И. С.
Электр сүзгілердің жұмысына әсер ететін негізгі артықшылықтары мен факторлары347

Уахитова А. Б., Жабекова А. Ж.
Қазіргі заманғы энергия тұтынуын болжау әдістерін талдау354

Уразалимова Д. С., Нурманов М. М.
Құбырларды үздіксіз прокаттау процесін дамыту364

Фандюшин В. И., Мануковский А. В., Игонин С. И., Сарина А. Ж.
Электр доғасының пештің асимметриялық режимдерін микропроцессорлық түзету жүйесі368

Фандюшин В. И., Мануковский А. В., С. И. Игонин, Сарина А. Ж.
Көше жарықтандыруды басқару жүйесі373

Цыба Ю. А., Алмуратова Н. К., Кузьмин Ю. А.
MATLAB Simulink бағдарламасында жиілікті – реттелетін электр жетегінің қоректендіруші желінің электр энергиясының сапасына әсерін есептеу ..377

Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б.
Энергетикалық қызметкерлердің номиналды бағалаудың динамикалық жүйелері383

Юров В. М., Балтабеков А. С., Гученко С. А., Лауринас В. Ч.

Көпфазалы қаптамаларды қалыптастыру ерекшеліктері390

Авторларға арналған ережелер400

СОДЕРЖАНИЕ**Абдрахманов Р. Б., Рустамов Н. Т.**К вопросу фрактальной процедуры планирования
в организационных системах 15**Азаматов М. Т., Андреева О. А.**Оптимизация работы системы электронного документооборота –
как процесс совершенствования бизнес-процессов28**Амриев Р. А., Бейсенов Д. Г.**Анализ влияния легкой и тяжелой установки замедленного коксования
на процесс гидроочистки сырья каталитического крекинга
на ТОО «ПНХЗ»34**Андреева О. А., Гоненко Т. В.**Применение компьютерного моделирования внешнего магнитного
поля методом конечных элементов для диагностики повреждений
асинхронного двигателя41**Ауельбек М. А., Исенов С. С., Нуржан Н. Н.**Разработка мер по снижению потерь электроэнергии путем
совершенствования электроэнергетического рынка Казахстана53**Волгина Е. М., Новожилов А. Н., Колесников Е. Н., Новожилов Т. А.**
Моделирование работы трехфазного трехобмоточного трансформатора .62**Герасименко Т. С., Акимжанов Т. Б.**Экспериментальное исследование несимметрии напряжений
в сельских электрических сетях 0,38 кВ75**Денисюк А. В.**Применение акустического криптоанализа ЖК-мониторов
для контроля самостоятельности сдачи тестирований86**Дробинский А. В., Уразалимова Д. С.**

Технологии и способы подготовки твердого углеродистого топлива92

Елубай М. А., Оспанбек С. О.

Исследование процесса деасфальтизации гудронов жидким пропаном ..100

Елубай М. А., Оспанбек С. О.Исследование процессов деасфальтизации по одноступенчатой
или двухступенчатой схемам109**Есенғалиев Д. А., Байсанов С. О., Исагулов А. З., Байсанов А. С.**Петрографическое исследование первичных марганцевых руд
месторождения «Ушкатын III»122**Жумадилова А. Ш.**

Перспективы использования сухого метода обогащения углей128

Жумалинов Е. А.Анализ и утилизация канализационных стоков
и осадков города Павлодар136

Зильгараева А. К., Смайлов Н. К. Неинвазивный мониторинг глюкозы: обзор проблем и последних достижений	143
Ивель В. П., Иванищев А. А. Разработка системы стабилизация температуры лопаток паровых турбин в процессе напыления порошковых соединений	152
Исенов С. С., Исенов Ж. С., Нуржан Н. Н. Разработка принципиальной электрической схемы многодвигательного электропривода с микропроцессорным управлением	164
Исенов С. С., Исенов Ж. С., Нуржан Н. Н. Разработка алгоритма работы на основе сети Петри для микропроцессорного средства управления многодвигательным асинхронным электроприводом	170
Исупова Н. А., Нуkenов К. К. Анализ возобновляемых источников энергии и их перспективы развития в Казахстане	179
Исупова Н. А., Аязбаева А. Д. Перспективы развития геотермальной энергетики в Казахстане	192
Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П. Метод контроля частоты или независимого, автономного и беспроводного контроля	199
Калдыбаев Р. Т., Степанов С. Г., Арипбаева А. Е., Мирзамуратова Р. Ш., Жунисбекова Д. Исследование зоны и параметров контакта между нитями в тканых армирующих каркасах пожарных напорных рукавов	209
Кислов А. П., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Кусаинов Д. И. Оптимизация режимов сетей ГК KAZ MINERALS	220
Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б. Снижения уровня генерируемых гармоник частотно-регулируемых электроприводов	229
Копишев Э. Е., Сулейменов И. Э., Пак И. Т., Шалтыкова Д. Б., Матрасулова Д., Бакиров А., Молдахан И., Копишев И. Е. Функционирование нейронных сетей с точки зрения теории помехоустойчивых кодов	241
Крикунов М. Е., Калиев Т. А., Дюсекенова У. С., Байкен А. Проблемы, связанные с процессом гидрообессеривания вакуумного газойля	257
Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Талипов О. М. Модель и моделирование переменной ветровой турбины с использованием DFIG под MATLAB / SimPowerSystem	265

Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Садвокасова Г. М., Рахимбердинова Д. М. Разработка математической модели системы автоматического регулирования технологического процесса металлургического производства	27
Нефтисов А. В., Солтанбекова А. Р., Говорун О. В. Совершенствование процесса выполнения расчетов годовых тепловых нагрузок посредством автоматизирования процесса	277
Новожилов А. Н., Рахимбердинова Д. М., Новожилов Т. А. Моделирование работы однофазного печного трансформатора с одинаковыми вторичными обмотками	283
Новожилов А. Н., Юсупова А. О., Новожилов Т. А. Выбор информационного признака повреждения для системы диагностики эксцентриситета ротора асинхронного двигателя с емкостным измерительным преобразователем	293
Приходько Е. В., Оришевская Е. В., Беркетов С. С. Анализ мероприятий по снижению инфильтрационных потерь административных зданий	302
Сагатбекова Д. Е., Балабаева Т. Т., Рамазанова М. С. Будущее за IT-технологиями	311
Серіков Т. Ф., Құдайбергелі А. М. Вид криптографии, основанный на криптографии Виженера и Цезаря	318
Серіков Т. Ф., Құрманбай Н. М. Новая модель криптографии на основе кода ASCII	324
Сулейменов И. Э., Копишев Э. Е., Пак И. Т., Бакиров А., Молдахан И., Сапанова Э., Копишев И. Е. Дискретизация весовых коэффициентов нейронных сетей	331
Талипов О. М., Бергузинов А. Н., Оришевская Е. В., Базарбаев И. С. Основные достоинства электрофильтров и факторы, влияющие на их работу	347
Уахитова А. Б., Жабекова А. Ж. Анализ современных методов прогнозирования электропотребления	354
Уразалимова Д. С., Нурманов М. М. Развитие процесса непрерывной прокатки труб	364
Фандюшин В. И., Мануковский А. В., Игонин С. И., Саринова А. Ж. Микропроцессорная система коррекции несимметричных режимов дуговой сталеплавильной печи	368
Фандюшин В. И., Мануковский А. В., Игонин С. И., Саринова А. Ж. Система управления уличным освещением	373
Цыба Ю. А., Алмуратова Н. К., Кузьмин Ю. А. Оценка влияния частотно-регулируемого привода на качество электроэнергии питающей сети в среде MATLAB Simulink	377

Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б.	
Динамические системы обеспечения номинальных значений энергетических координат	383
Юров В. М., Балтабеков А. С., Гученко С. А., Лауринас В. Ч.	
Особенности формирования многофазных покрытий	390
Правила для авторов	400

CONTENT

Abdrakhmanov R. B., Rustamov N. T.	
Issues of fractal planning procedure in organizational systems	15
Azamatov M. T., Andreeva O. A.	
Optimization of work of the electronic document management system – as process of business processes improvement	28
Amriev R. A., Beisenov D. G.	
Analysis of the impact of light and heavy gasoil on the process of hydrotreatment of catalytic cracking raw materials	34
Andreeva O. A., Gonenko T. V.	
The use of computer modeling of the external magnetic field by the finite element method to diagnose damage to the induction motor	41
Auelbek M. A., Issenov S. S., Nurzhan N. N.	
Development of measures to reduce energy losses by improving the electricity market of Kazakhstan	53
Volgina E. M., Novozhilov A. N., Kolesnikov E. N., Novozhilov T. A.	
Simulation of a three-phase three-winding transformer	62
Gerasimenko T. S., Akimzhanov T. B.	
Experimental investigation of voltage unbalance in rural electric mains 0.38 kV	75
Denisyuk A. V.	
Application of acoustic cryptoanalysis of LCD monitors to control the honesty in taking tests	86
Drobinsky A. V., Urazalimova D. S.	
Technologies and methods of solar carbon specialization	92
Elubay M. A., Ospanbek S. O.	
Research process of tars deasphaltizing with liquid propane	100
Elubay M. A., Ospanbek S. O.	
Study of deasphaltizing processes in one-stage or two-stage schemes	109
Yessengaliyev D. A., Baisanov S. O., Issagulov A. Z., Baisanov A. S.	
Petrographic study of primary manganese ore deposit «Ushkatyn III»	122
Zhumadilova A. Sh.	
Prospects for the use of dry coal preparation method	128
Zhumalinov E. A.	
Analysis and disposal of drainage and sediments of the Pavlodar city	136
Silgarayeva A. K., Smailov N. K.	
Non-invasive glucose monitoring: a review of the problems and recent achievements	143
Ivel V. P., Ivanishchev A. A.	
Development of a system for stabilizing the temperature of steam turbine blades during the deposition of powder compounds	152

Issenov S. S., Issenov Zh. S., Nurzhan N. N. Development of the schematic diagram of a multi-motor electric drive with microprocessor control	164
Issenov S. S., Issenov Zh. S., Nurzhan N. N. Development of an algorithm based on the Petri net for microprocessor control of multi-motor asynchronous electric drive	170
Isupova N. A., Nukenov K. K. Analysis of renewable energy sources and their prospects of development in Kazakhstan	179
Isupova N. A., Ayazbayeva A. D. Prospect of geothermal energy development in Kazakhstan	192
Kaidar A. B., Kaidar M. B., Shapkenov B. K., Markowsky V. P., Kislov A. P. Frequency reduction control method or independent, autonomous and wireless control circuit	199
Kaldybaev R. T., Stepanov S. G., Aripbaeva A. E., Mirzamuratova R. Sh., Zhunisbekova D. Research of the zone and contact parameters between threads in woven reinforcing frames of fire-press heads	209
Kislov A. P., Shapkenov B. K., Markowsky V. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Kusainov D. I. Optimization of network modes of KAZ MINERALS	220
Kislov A. P., Shapkenov B. K., Markowsky V. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B. Reducing the level of generated harmonics of frequency-controlled electric drives	229
Kopishev E. E., Suleimenov I. E., Pak I. T., Shaltikova D. B., Matrassulova D., Bakirov A., Moldahan I., Kopishev I. E. The functioning of artificial neural networks from the point of view of the theory of noise-resistant codes	241
Krikunov M. E., Kaliyev T. A., Dyusekenova U. S., Baiken A. The problems, related with the process of hydrodesulfurisation of vacuum gas oil	257
Markowsky V. P., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Talipov O. M. The model and simulation of a variable speed wind turbine using DFIG under MATLAB/SimPowerSystem	265
Mendybayev S., Baikenova N., Sadvokasova G., Rakhimberdinova G. Development of a mathematical model automatic control system of the metallurgical production	271
Neftissov A. V., Soltanbekova A. R., Govorun O. V. Perfection of the process of performing calculations of annual thermal loads by means of automating the process	277

Novozhilov A. N., Rakhimberdinova D. M., Novozhilov T. A. Simulation of single-phase furnace transformer with the same secondary windings	283
Novozhilov A. N., Yussupova A. O., Novozhilov T. A. Selection of an informational sign of damage for the diagnostic system of the eccentricity of the rotor of an induction motor with a capacitive measuring transducer	293
Prihod'ko E. V., Orishevskaya Y. V., Berketov S. S. Analysis of activities to reduce infiltration losses of administrative buildings	302
Sagatbekova D. E., Balgabaeva T. T., Ramazanova M. S. IT-technologies – our future	311
Serikov T. G., Qudaibergen A. M. A type of cryptography based on the cryptography of Vigenere and Caesar	318
Serikov T. G., Qurmanbai N. M. New cryptography model based on ASCII code	324
Suleimenov I. E., Kopishev E. E., Pak I. T., Bakirov A., Moldahan I., Sapanova E., Kopishev I. E. Discretization of weights of artificial neural networks	331
Talipov O. M., Berguzinov A. N., Orishevskaya E. V., Bazarbaev I. S. The main advantages and factors affecting the operation of electrostatic precipitators	347
Uakhitova A. B., Zhabekova A. Zh. Analysis of modern methods of power consumption forecasting	354
Urazalimova D. S., Nurmanov M. M. Continuous pipe rolling process development	364
Fandyushin V., Manukovskiy A., Igonin S., Sarinova A. Microprocessor system correction of asymmetrical modes of an electric arc furnace	368
Fandyushin V., Manukovskiy A., Igonin S., Sarinova A. Management system of street illumination	373
Tsyba Yu. A., Almuratova N. K., Kuzmin Yu. A. Estimation of the effect of the frequency-regulated drive on the quality of electric energy of the food network in the MATLAB Simulink environment	377
Shapkenov B. K., Markowsky V. P., Kislov A. P., Kaidar A. B., Kaidar M. B. Dynamic systems ensuring nominal values of energy coordinates	383

Р. Б. Абдрахманов¹, Н. Т. Рустамов²

¹Факультет инженерии, Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан;

²Факультет инженерии, Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан

К ВОПРОСУ ФРАКТАЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ПЛАНИРОВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Турбулентность экономики диктует новые подходы к организации организационных структур. В работе рассматривается фрактальная процедура планирования деятельности организации, определенная как активная система A_c . Констатируется, что в условиях турбулентности экономики устойчивая работа A_c зависит от начальных условий формирующих ее структуру. Таким условием является использование потенциала организации Π_o^A , состоящих из трех компонент: внешний потенциал Π_{en}^A , внутренний потенциал Π_{em}^A и потенциал управления Π_y^A . Предлагается алгоритм оценки соотношения компонентов Π_o^A обеспечивающий эффективность управления A_c . Выдвигается концепция формирования фрактальной структуры организации на основе процедуры планирования π . Рассматривается алгоритм нахождения фрактальной размерности D управляющих воздействий регулирующий деятельность A_c в турбулентной рыночной среде. Отмечается, что фрактальная модель A_c демонстрирует потрясающую живучесть в любой среде, как в турбулентной, упорядоченной, так и в хаотической.

Ключевые слова. Турбулентная экономика, процедура планирование, активная система, фрактальная модель организации, фрактальная размерность, турбулентность рынка, фрактальность потенциала, компоненты потенциала, управляющее воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

Основа разрушительной инновации заключается в том, что она создает значительное изменение на рынке, вынуждая считать доминирующую сегодня технологию устаревшей. Это создает значительную турбулентность для всех участников, вовлеченных как в предыдущие, так и в измененные технологии.

Турбулентность происходит стремительно, оставляя многие организационных структур неподготовленными и уязвимыми к хаосу, который она вызывает. Вход в эту новую эпоху – это время огромных возможностей, но также и время значительного риска. И хотя турбулентности в бизнесе нельзя избежать, организационные структуры наверняка могут выбирать, как они будут ее воспринимать. Они могут преодолеть турбулентность или же погрузиться в нее. Они могут игнорировать или противостоять хаосу, пытаясь продержаться и выжить, либо же ожидать и максимально использовать турбулентность себе на пользу. Все это зависит от того как организационные структуры будут приспосабливаться к этим условиям. С другой стороны сама приспособления означает изменения структуры организации.

Стабильное существование любой организационной структуры (активной системы A_c [1]) во многом зависит от ее потенциала $\Pi_o^{A_c}$ и от использования этого потенциала в определенных соотношениях [2] при заданной цели – $\Psi_{A_c}(X)$. Этот потенциал A_c состоит из трех компонентов: внешний потенциал $\Pi_{en}^{A_c}$, внутренний потенциал $\Pi_{em}^{A_c}$ и потенциал управления $\Pi_y^{A_c}$, т.е.:

$$\Pi_o^{A_c} = \Pi_{em}^{A_c} \& \Pi_{en}^{A_c} \& \Pi_y^{A_c} \quad (1)$$

В целом состояние A_c описывается переменной $y \in U$, принадлежащим допустимому множеству A [1]. Состояние системы в рассматриваемый момент времени зависит от выбранных центром A_c управляющих воздействий $\eta \in U(\Pi_y^{A_c})$, $y = G(\eta)$. Предположим, что на множестве $U \times A$ задан функционал $\Phi(\eta, \Pi_o^{A_c})$ определяющий эффективность функционирования активной системы. Величина $K(\eta, \Pi_y^{A_c}) \subset \Phi(\eta, \Pi_o^{A_c})$ называется эффективностью управления $\eta \times U$.

Здесь $\Pi_o^{A_c} : \Pi_{en}^{A_c} \& \Pi_{em}^{A_c} \& \Pi_y^{A_c}$ – выражает потенциал активной системы A_c , на основе которого осуществляется процедура планирования $\pi: X \rightarrow S$ деятельности A_c . При такой постановке задачи оценки эффективности управления A_c с учетом использования компонентов $\Pi_o^{A_c}$ в определенной пропорции приобретает актуальный характер.

Понятно, что после начало деятельности A_c центр будет использовать компоненты $\Pi_o^{A_c}$ по разным соотношениям в зависимости от плана X и типа $y = G(\eta)$ управляющих воздействий для выполнения принятого плана.

При заданной цели $\Psi_{A_c}(X)$ центр A_c на основе плана X определяет ориентацию деятельности активной системы, обеспечивающий эффективность управления A_c . Такая ориентация зависит от турбулентности

рынка [3,4,5]. В этом случае имеется три варианта ориентации деятельности A_c : ориентированный на $\Pi_{en}^{A_c}$, или на $\Pi_{em}^{A_c}$, или на $\Pi_y^{A_c}$. Эти варианты выбирается как центр A_c будет использовать компоненты $\Pi_o^{A_c}$ в процессе $\pi: X \rightarrow S$, где S сообщения о выполнения плана. В этом и заключается смысл стратегического планирования [6].

В работе [7] управляющее воздействие в A_c выражается следующим образом: $U = (f \& q)$, где f – сила воздействия, q – глубина воздействия, чтобы удачно выполнить план X центр A_c должен выработать меру для U . Такая мера обеспечивает эффективность воздействия на членов A_j активной системы в зависимости от выполнения или не выполнения X . По физической сути эта мера степенным образом зависит от f [8]. Тогда с точки зрения фрактальной геометрии [9] масштабом воздействия $\eta \in U$ будет сила воздействия f , а глубина воздействия q будет масштабным множителем. С этой точки зрения, степень f будет отражать фрактальной размерности D воздействия $U(q \& f)$, характеризующей меру увеличения (или уменьшения) воздействия на A_j , с учетом не выполнения (или выполнения) плана X и турбулентности рынка.

При таком подходе модель управляющих воздействий в A_c будет оцениваться следующей формулой:

$$U(q \& f) \approx q \cdot f^{1-D} \quad (2)$$

Формула (2) выражает, что эффективность воздействие степенным образом зависит от силы воздействия и подобно соотношению Б. Мандельброта (Mandelbrot B. B) [10].

Целью работы является нахождения соотношения компонентов потенциала $\Pi_o^{A_c}$ активной системы, который максимизировал значение ее эффективности, т.е.

$$\eta^* \in \text{Argmax } K(\eta, D, \Pi_y^{A_c}) = \{ \eta \in U | \forall \gamma \cup K(\eta, D_\gamma, \Pi_y^{A_c}) \geq K(\gamma, D_\gamma, \Pi_y^{A_c}) \}$$

и алгоритма определения D на основе фрактального планирования.

Метод решение. Родиной работ в области фрактальной организации предприятий, видимо, является СССР. В книге Ханса-Юргена Варнеке «Революция в предпринимательской культуре. Фрактальное предприятие» [11] говорится, о мощи этой модели. Однако книга не была воспринята, увидев свет слишком рано. В 1993 году ее просто некому было понять.

Актуальность создания организаций, построенных по фрактальному принципу, обосновывается сложившейся экономической ситуацией, которую можно охарактеризовать как «вихревую» или «турбулентную» [5]. С философской точки зрения фрактал – крошечный кирпичик, из которого природа строит все свое разнообразие. С одной стороны, он всегда остается

самим собой. С другой стороны бесконечно изменяется, приобретая разные формы в зависимости от хаотичности среды. Фрактальная организация самоподобна: все ее принципы несет в себе даже единственный ее элемент.

Не секрет, что под термином хаос, прежде всего, подразумевается «беспорядок», «не разбериха», «смешение». Понятие «хаос» возникло от древнегреческого слова $\chi\acute{\alpha}\omicron\varsigma$ от $\chi\alpha\acute{\iota}\nu\omega$, означающего раскрываюсь, разверзаюсь. Лишь в раннехристианские времена этому слову начали приписывать значение «беспорядка». В математике хаосом называется аperiodическое детерминированное поведение динамической системы, крайне чувствительное к начальным условиям [12]. В бытовом контексте слово «хаос» означает «быть в состоянии беспорядка». Теория хаоса гласит, что сложные системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий, и небольшие изменения в окружающей среде могут привести к непредсказуемым последствиям [13]. Одним из важных свойств хаоса является то, что он представляет собой «самоподдерживающиеся» систему. Т.е. систему, которая «стремится» сохранять и поддерживать свое состояние «изотропности». Именно это свойство хаоса и есть проявление «упругости» или «гибкости организации» [14,15]. Фрактальный анализ в большей мере характеризует не оперативное, а стратегическое поведение организации. Он позволяет добиться их оптимального сочетания [6].

Фрактальная структура потенциала A_c дает возможность создать модель фрактальной системы управления. К тому же эта модель демонстрирует потрясающую живучесть в любой деловой среде, как в упорядоченной, так и в хаотической. Такая живучесть зависит от выбора типа управляющих воздействий. Это своего рода начальное условия для эффективного существования A_c . А фрактальная размерность D определяет меру применения этих воздействий [16,17]. Это сказанное отражается в следующей теореме.

Теорема. Если мы используем $\Pi_{\epsilon n}^A$ – как масштаб 1, то внутренний потенциал надо использовать 1,6 раза больше чем $\Pi_{\epsilon n}^A$, а потенциал управления Π_{ν}^A надо использовать три раза больше чем $\Pi_{\epsilon n}^A$ и два раза больше чем $\Pi_{\epsilon m}^A$, то тогда при заданном D_{η} , выполняется условие (5), т.е.:

$$\eta^* \in \text{Argmax } K(\eta, D, \Pi_{\nu}^A) = \{ \eta \in U | \forall \gamma \cup K(\eta, D_{\eta}, \Pi_{\nu}^A) \geq K(\gamma, D_{\gamma}, \Pi_{\nu}^A) \}$$

Доказательство. Чтобы доказать эту теорему мы представим потенциал A_c в виде параллелепипеда как показанной на рис.1,а.

После того как начнется деятельность A_c параллелепипед (рис.1,а) превращается в пирамиду (рис.1,б) [2]. Так как параллелепипед представляет A_c , то задача оценки устойчивости этой фигуры определяет эффективность существования самой организационной системы.

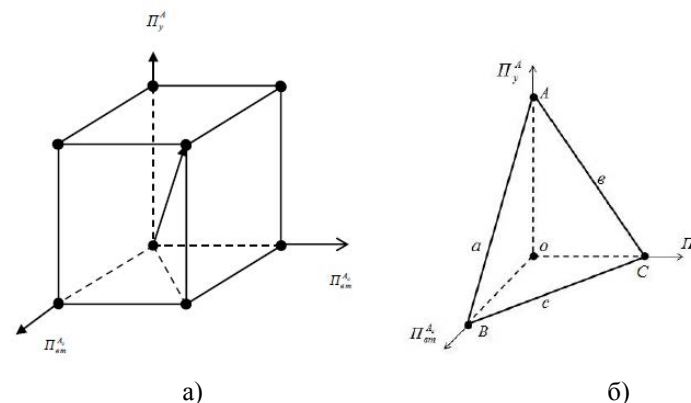


Рисунок 1 – Пространственный вид Π_o^A до начало деятельности A_c , а, и после б.

Для турбулентной рыночной среде решения такой задачи по существу означает оценить критерий устойчивости фигуры параллелепипеда (рис.1,а). А устойчивость этой фигуры зависеть от устойчивости пирамиды показанной на рис.1,б.

Таким образом, чтобы A_c работала эффективно, пирамида должна быть устойчивой. Пирамида будет устойчивой, если $S_{\Delta ABC} = \xi \cdot (OA)^2$, т.е. должен соблюдаться принцип «золотого сечения» [2]. При таком подходе мы можем оценить соотношения между компонентами. Π_o^A для использования их в деятельности A_c .

Допустим, что компоненты Π_o^A пространственно взаимосвязаны между собой, как на рис. 1. Здесь наблюдается очень интересный факт. Если при построении параллелепипеда (рис.1,а) сохраним ортогональность четырехугольной грани этого параллелепипеда (в принципе, параллелепипед строится центром до начало деятельности A_c , т.е. в процедуре планирование $\pi: X \rightarrow S$, значить процедура планирование – это есть построение параллелепипеда), то после начало деятельности A_c выглядит как типа пирамиды Хеопса (рис.1,б). В этом случае $K(\eta, \Pi_o^A) = S_{\Delta ABC}$.

Таким образом A_c будет устойчивым, если будет выполнена следующее условие

$$S_{\Delta ABC} = \chi \cdot (OA)^2, \text{ где } \chi \text{ -числовой коэффициент} \quad (3)$$

Вычислим $S_{\Delta ABC}$

$$a = (AB) = \sqrt{(OB)^2 + (OA)^2}$$

$$b = (AC) = \sqrt{(OC)^2 + (OA)^2}$$

$$c = (BC) = \sqrt{(OC)^2 + (OB)^2}$$

На основе формулы Герона, площадь треугольника ΔABC :

$$S_{\Delta ABC} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \text{ где } p = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

Так, как стороны параллелепипеда ортогональны, т.е. $OB=1,6$ OC тогда

$$OC = \frac{1}{1,6} OB = 0,6OB$$

Далее

$$BC = \sqrt{(0,6)^2(OB)^2 + (OB)^2} = (OB)\sqrt{0,36+1} = 1,16(OB)$$

$$AC = \sqrt{(0,6)^2(OA)^2 + (OA)^2}$$

$$AB = \sqrt{(OB)^2 + (OA)^2}$$

Если стороны параллелепипеда будет ортогональным четырехугольником, т.е. $OA=1,6(OB)$, то

$$BC = 1,16 \cdot 0,6(OA) \approx 0,7OA$$

$$AC = \sqrt{(0,6)^2(OA)^2 + (OA)^2} \approx OA$$

$$AB = \sqrt{(0,6)^2(OA)^2 + (OA)^2} \approx OA$$

$$p = \frac{1}{2} \cdot 2,7(OA) = 1,3(OA)$$

$$S = \sqrt{1,3(OA)(1,3(OA) - (OA))(1,3(OA) - 0,7(OA))1,3(OA) - (OA)}$$

$$S \approx 0,2(OA)^2$$

Результатом этих вычислений будет определения соотношения для потенциала управления $\Pi_y^{A_c}$, внутреннего потенциал $\Pi_{em}^{A_c}$ и внешнего потенциала $\Pi_{en}^{A_c}$ обеспечивающий эффективность фрактального управления:

$$(\Pi_y^{A_c})^2 \approx 1,5(\Pi_{em}^{A_c})^2 + 0,5(\Pi_{en}^{A_c})^2 \quad (4)$$

Такое соотношение можно вывести для остальных ориентации деятельности A_c [1]. По этой формуле видно, что внутренний потенциал A_c надо использовать не более три раза больше чем внешний потенциал, чтобы деятельность A_c была устойчивой, т.е.

$$\eta^* \in \text{Argmax } K(\eta, D, \Pi_y^{A_c}) = \{\eta \in U | \forall \gamma \cup K(\eta, D_\eta, \Pi_y^{A_c}) \geq K(\gamma, D_\gamma, \Pi_y^{A_c})\}$$

В этом случае параллелепипед будет расширяющимся.

Теорема доказана.

Здесь можно констатировать очень интересную закономерность. Если стороны параллелепипеда будут ортогональными в трех случаях, то можно говорить об устойчивости $V_c^{\Pi_{A_c}}$. В этом случае наблюдается следующие соотношения между компонентами $\Pi_o^{A_c}$:

$$\Pi_y^{A_c} \approx 1,6 \Pi_{em}^{A_c}; \quad \Pi_{em}^{A_c} \approx 1,6 \Pi_{en}^{A_c}; \quad \Pi_y^{A_c} \approx (1,6)^2 \Pi_{en}^{A_c} \quad (5)$$

Если активная система A_c , имеющий потенциал $\Pi_o^{A_c} = (\Pi_{em}^{A_c} \& \Pi_{en}^{A_c}) \& \Pi_y^{A_c}$ будет при активизации $\Pi_y^{A_c}$ использовать свои потенциалы в каждом этапе планирования по условию (4) и соблюдать соотношение (5), то тогда деятельность A_c будет устойчивой [8].

Теперь приведем алгоритм оценки фрактальной размерности D управляющих воздействий U обеспечивающих эффективность управления активной системой A_c .

Фрактальная размерность воздействия η можно найти когда производится процедура планирования π для A_c . Так как фрактальность потенциала активной системы дает возможность организовать процедуру планирования по принципу «золотого сечения».

Допустим, что задается для A_c план X . Для выполнения этого плана центр запускает процедуру планирования. Например выполнение плана разделяется на несколько подпланов для выполнения которых определяется время t .

1 Определяется задания плана X . План должен выполняться за время T . Выполнение X разделяем на этапы, т.е.

$$\begin{cases} X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i \\ T = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \end{cases} \quad (6)$$

2 Для выполнения x_1 определяем значения $\Pi_{en}^{A_c}$, $\Pi_{em}^{A_c}$ и $\Pi_y^{A_c}$ и (рис. 2). Выбираем масштаб для внешнего потенциала $\Pi_{en}^{A_c} \cdot \lambda = 1$, тогда масштаб для $\Pi_{em}^{A_c} \cdot \lambda_1 = 1,6\delta$, для $\Pi_y^{A_c} = (1,6)^2\delta$.

3 Тогда для $i=3$ получается множество

$$X = \delta_1 x_1 + \delta_2 x_2 + \delta_3 x_3 \quad (7)$$

4 Для x_1

$$\lambda \eta = g \cdot (\lambda \delta)^{1-D}$$

5 Для x_2

$$(1.6 \cdot \delta)^{1-D} = \eta_1 \quad \ln(\eta_1) = (1-D) = \ln(1.6 \cdot \delta)$$

6 Находим

$$1 - D = \frac{\ln \eta_1}{\ln(1.6 \cdot \delta)} \quad (8)$$

Здесь η_1 выражает суть управляющих воздействий для выполнения плана x_1 .

Фрактальная размерность управляющих воздействий для выполнения плана X оценивается по формуле (8).

Чтобы понять суть предлагаемого алгоритма для заданной A_c построим Π_o^A с объёмом $V_c^1(7,8,9)$ (рис. 2). Здесь каждый параллелепипед является этапом планирования и выражает фрактал плана X . С другой стороны, объём фрактала отражает суть этапов плана X . После того как мы построили Π_o^A , возникает вопрос как надо выбирать точки (1,2,3), выражающие план x_1 , точки (4,5,6), выражающие план x_2 и точки (7,8,9), выражающие план x_3 . От выбора этих точек зависит устойчивость параллелепипеда или управляемость A_c [7]. Допустим, мы организовали A_c с потенциалом Π_o^A для выполнения определенной работы (такой работой может быть выпуск изделий, или организация какой-то услуги и т.д.). В первую очередь, оценивая Π_{em}^A , Π_{en}^A и Π_y^A будем строить параллелепипед, т.е. Π_o^A . Далее выбираем точку 7. Расстояние 07 определяем как размер L . После, выбираем точку 9. При этом расстояние 09 будет равняться $1,6L$. Далее выбираем точку 8. При этом расстояние 08 должно равняться $(1,6)^2=2,56L$. При таком выборе точек стороны параллелепипеда сохраняют свою ортогональность. Следующие точки 4 и 1 выбираем по принципу «золотого» сечения, т.е. $1,4/4,1=1,6$.

Первая план-фрактал $V_c^1(1,2,3)$, вторая план-фрактал $V_c^2(4,5,6)$ и третья-фрактал $V_c^3(7,8,9)$.

Когда идет процедура планирование $\pi: X \rightarrow S$ центр будет ориентироваться на свой Π_o^A .

Каждый этап выполнения плана зависит какую меру воздействия центр выбирает. При выборе этих мер центру понадобится фрактальная размерность D силы воздействия f .

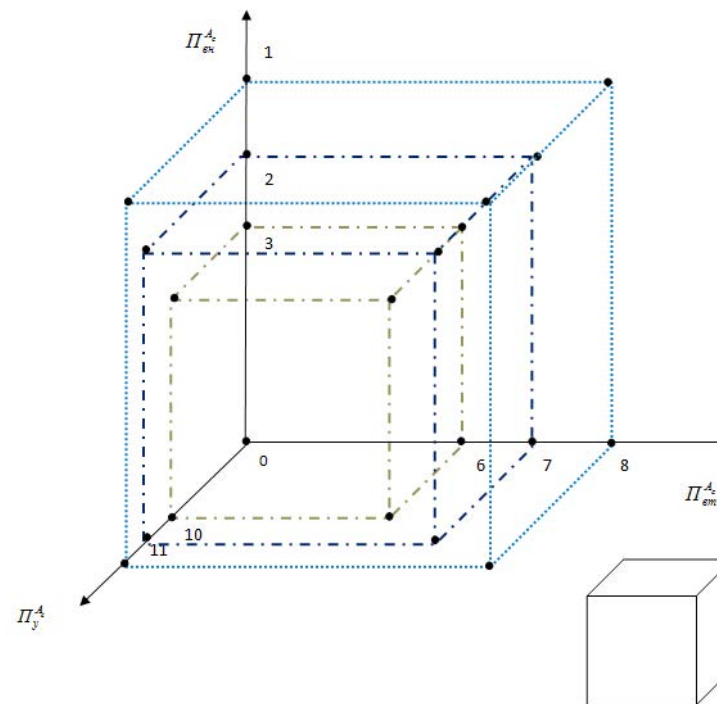


Рисунок 2 – Фрактальная процедура планирования $\pi: X \rightarrow S$ в A_c

Эти размерности оцениваются из следующих соображений: если фрактал образован из N подобных элементов, с коэффициентами подобия k_1, k_2, \dots, k_N , то его размерность можно найти по формуле [10]:

$$D = \ln(N) / \ln(1/k) \quad (9)$$

На каждом этапе выполнения плана вступают в силу новые управляющие воздействия. Это не означает, что выполненные до сих пор планы не учитываются, но это лишь означает, что для выполнения нового плана нужно менять меру управляющих воздействий.

После процедуры планирования выбираются компоненты потенциала A_c по формуле (4), т.е. по правилу «золотого сечения» используется внутренний потенциал $\chi = 1.6$, т.е. $1.6 \cdot \Pi_{em}^A$, а потенциал управления выбирается по правилу «золотого сечения» относительно внутреннего потенциала, т.е. $\Pi_y^A: \chi = (1.6 \cdot 1.6)$.

А управляющее воздействие

$$\eta = G(f) f^{1-0.6} = G(f) f^{0.4} \quad (10)$$

Из этой формулы следует, что глубина воздействия должно быть $f^{0.4}$ больше, чем f .

Таким образом воздействия

$$U \sim f^{1-D} \quad (11)$$

т.е. эффективность воздействия степенным образом зависит от силы воздействия. Все сказанное выше имеет место быть для одного параллелепипеда. Для следующего параллелепипеда воспользуемся законом самоподобия.

ВЫВОДЫ

Структура фрактальности организации формируется в зависимости от формы процедуры планирования $\pi: X \rightarrow S$. Процедура планирования на основе фрактальности $P_o^{A_c} = (P_{em}^{A_c} \& P_{en}^{A_c}) \& P_y^{A_c}$, дает нам возможность, оценить D и приспособлять структуру A_c на турбулентную рынок. Тем самым обеспечивается эффективность управления A_c . Для фрактального управления важное значение имеет, как расположены точки определяющие размерность фракталов (этапы планирования) рис. 2. Самым оптимальным является расположение фракталов по принципу «золотого сечения». Когда мы представим форму процедуры планирования в виде параллелепипеда (рис.2), тогда использования компонент потенциала организации будет начальным условием устойчивости A_c . Именно соотношение (4) является регулятором ориентации A_c на турбулентную рынок. Построенная по этому принципу A_c и ее система управления обеспечивает не только эффективность управления [18,19], но и устойчивость самой A_c [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами. – М. : Изд-во физико-математических литератур, 2007. – 584 с.
- 2 Рустамов, Н. Т., Порсаев, Г. М. Потенциал активной системы и ее устойчивость. Науч. жур. Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, – №1 – 2016. – с. 91–98.
- 3 Заславский, Г. М., Сагдеев, Р. З. Введение в нелинейную физику : От маятника до турбулентности и хаоса. – М. : Наука, 1988.
- 4 Peter Drucker. The Age of Discontinuity. – New York : Harper Collins Publications, 1992.
- 5 Andy Grove. Only the Paranoid Survive. – New York : Current Doubleday Random House Publishers, 1999.

6 Рустамов, Н. Т., Жасузакова, М. Ж. Алгоритмический и программный инструментарий стратегического планирования. – Т. : «Fan va texnologiya», 2013, 120 стр. ISBN 978-9943-10-922-3.

7 Хуснутдинова, Х. Х., Рустамов, Н. Т. Информационная система оценки управляемости. Ташкент : ФАН, 2005. – 128 с. – ISBN 5-648-03155-6.

8 Рустамов, Н. Т. Фрактальное управление активной системой // Доклады республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы применения информационных технологии в управлении», Джизак, РУз, 2016, с. 272–277.

9 Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы. – М. : Изд-во Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.

10 Балханов, З. К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / от. ред. Ю.Б.Башкуев. – Улан-Удэ : Изд-во Бурятского государственного университета, 2013. 224 с.

11 Варнеке, Х. Ю. Революция в предпринимательской культуре. Фрактальное предприятие. – М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 1999. – С. 157–232.

12 Jack Heidel; Zhang Fu (1999). «Nonchaotic behaviour in three-dimensional quadratic systems II. The conservative case». Nonlinearity. 12 (3): 617–633. Bibcode:1999Nonli..12..617H. DOI:10.1088/0951-7715/12/3/012.

13 Ахромеева, Т. С., Курдюмов, С. П., Малинецкий, Г. Г., Самарский, А. А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. – М. : Наука. – 1992.

14 Глазьев, С. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования / С. Глазьев, Д. Львов, Г. Фетисов – М. : Наука, 2002.

15 Мильнер, Б. З. Теория организаций – М., 2008.

16 Рустамов, Н. Т., Абдрахманов, Р. Б. Некоторые аспекты фрактальности управляющих воздействий в организационных системах. Вестник Государственного Университета имени Шакарима г. Семей, № 4(80)2017, с. 23–28.

17 Рустамов, Н. Т. Устойчивость активной системы и ее фрактальность. Вестник МКТУ им. Х. А. Ясауи. (Серия математика, физика, информатика), №3, 2017, с. 50–60.

18 Рустамов, Н. Т., Жасузакова, М. Ж. Эффективность фрактального управления. Membership in the WTO: Prospects of Scientific Researches and International Technology Market»: materials of the II International scientific-practical conference. Singapore, October 18–20, 2017. www.regionacadem.org 212 inf.academ@gmail.com

19 Рустамов, Н. Т., Нуралиев, Ф. М., Жасузакова, М. Ж., Бейсенбаева, Р. Б. Модель административного контроля и оценка искажения сообщений о выполнении плана. – Ташкент, Научно-технический и инфомационно-аналитический журнал ТУИТ 2016, №4 (40), ст. 98–105.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Р. Б. Абдрахманов¹, Н. Т. Рустамов²

Ұйымдастыру жүйелерінде фракталды жоспарлау процедураларының мәселелері

^{1,2}Инженерия факультеті,

Қ. А. Ясауи атындағы

Халықаралық қазақ-түрік университеті,

Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

R. B. Abdrakhmanov¹, N. T. Rustamov²

Issues of fractal planning procedure in organizational systems

^{1,2}Faculty of Engineering,

Akhmet Yesevi International

Kazakh-Turkish University,

Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Нарықтың турбуленттілігі ұйымдастыру жүйелерін жаңадан ұйымдастырылуын талап етеді. Бұл жұмыста A_c белсенді жүйе деп аталатын ұйымның жоспарлануының фракталдық процедурасы қарастырылады. Экономиканың турбуленттілік жағдайларында A_c белсенді жүйенің тұрақты жұмысы оның құрылымын құрастыратын бастапқы шарттардан тәуелді. Мұндай шарт мекеме әлеуетін қолдану Π_o^A жатады. Мекеме әлеуеті үш құраушыдан тұрады: сыртқы әлеует $\Pi_{ен}^A$, ішкі әлеует $\Pi_{см}^A$ және басқару әлеуеті Π_y^A . A_c басқару тиімділігін Π_o^A компоненттерінің ара қатынасын бағалауды қамтамасыз ететін алгоритм ұсынылады. π жоспарлау процедурасының негізінде мекеменің фракталдық құрылымын құрастырудың концепциясы ұсынылады. Турбуленттік нарықтық ортада D фракталдық өлшемдегі A_c қызметін реттейтін басқарушылық әсерлер қарастырылады. A_c фракталдық моделдің турбуленттік, реттелген және ретсіз ортада мықты өміршеңдігі көрсетіледі.

The turbulence of the economy dictates a new approach to the organization of structures. The paper discusses the fractal procedure of planning the activities of an organization, defined as an active A_c system. It is stated that in the conditions of turbulence of the economy, steady operation of A_c depends on the initial conditions forming its structure. This condition is the use of the potential of the organization, consisting of three components: external potential, internal potential and management potential. An algorithm for estimating the ratio of components is proposed that ensures the effectiveness of AC control. The concept of forming the fractal structure of an organization is put forward based on the π planning procedure. An algorithm for finding the fractal dimension D of control actions regulating the activity of A_c in a turbulent market environment is considered. It is noted that the fractal model of A_c demonstrates amazing vitality in any environment, both in turbulent, ordered, and in chaotic.

М. Т. Азаматов¹, О. А. Андреева²

¹магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²к.т.н. доцент, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹muratazamatov@mail.ru; ²andreyeva.aa@mail.ru

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА –
КАК ПРОЦЕСС СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ**

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с улучшением работы систем электронного документооборота. Проанализированы основные этапы при работе с входящей информацией на примере запросов от исполнительных органов. Выявлена и обоснована необходимость постоянно улучшать работу электронного документооборота, в части обработки входящей информации, для эффективной работы организации. Указаны основные проблемы, связанные с оптимизацией электронного документооборота.

Ключевые слова: обработка входящей информации, оптимизация электронного документооборота.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для эффективной работы организации, необходима гибкая, быстроизменяющаяся система электронного документооборота (СЭД), которая позволяет выполнять все поставленные задачи по обеспечению сотрудников, необходимой информацией и инструментами исполнения трудовых обязанностей. Для обеспечения высокого уровня конкурентоспособности организации система электронного документооборота, должна обеспечивать масштабируемость и адаптируемость под нужды конкретного предприятия путем настройки параметров системы, разработки и/или модернизации отдельных ее модулей и частей. Оптимизация системы электронного документооборота является основной задачей, так как задачи и цели стоящие

перед системой электронного документооборота постоянно меняются и дополняются. Важнейшими условиями успешного функционирования и дальнейшего совершенствования системы управления предприятиями являются накопление, обработка, передача и хранение необходимой информации. Каждая управленческая функция сопровождается определенным комплексом документов, состав которых зависит от круга решаемых задач, объема и характера компетенции предприятия, порядка принятия решения. В качестве повышения эффективности деятельности предприятий оптимизация документооборота играет главенствующую роль. Информация, сохраненная в электронном виде, является ресурсом, который играет не последнюю роль в жизнедеятельности организации. Применение новых информационных технологий в документационном обеспечении, позволит добиться качественно эффективных изменений в использовании документооборота.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В бизнес-процессах может участвовать множество субъектов и объектов, которые взаимодействуют между собой под влиянием управляющего воздействия (инструкции, регламенты и пр.) В ходе этого взаимодействия рождается результат, значимый для организации. Например, ответ на входящую корреспонденцию.

Входящий документ – документ, поступивший в учреждение. Большинство входящих документов должны порождать соответствующие исходящие, в установленные сроки. Сроки могут быть установлены нормативными актами, предписывающими то или иное время ответа на соответствующий входящий документ или могут быть указанные непосредственно во входящем документе.

Исходящий документ – официальный документ, отправляемый из учреждения. Большинство исходящих документов являются ответом организации на входящие документы. Некоторая часть исходящих документов готовится на основе внутренних документов организации. Небольшое число исходящих документов может требовать поступления входящих документов (например, запросы в другие организации).

Работа с входящей корреспонденцией включает много рутинных операций по поиску информации и формированию исходящего документа (письмо-ответ). При этом из-за большого количества запросов выполняются однотипные операции. Важное место в проекте оптимизации занимают анализ (описание процесса «как есть») и, собственно, оптимизация – построение процесса «как будет».

Существует множество методик описания бизнес-процессов и программных продуктов, поддерживающих эти методики. Независимо,

какая используется методика описания, модель процесса должна наглядно представлять следующие параметры бизнес-процесса:

- «Входы» и «Выходы» процесса;
- состав и количество процедур процесса;
- ответственные за выполнение процедур;
- результаты выполнения отдельных процедур и процесса в целом;
- способ передачи результатов;

Нормальным считаются 2–3 выхода, причем, один – при успешном выполнении процесса, 1–2 – по исключениям. Если исключений больше, значит надо искать причины и устранять их. Возможно, окажется целесообразным выделить исключение в отдельный процесс со своим регламентом работы.

Чаще всего 70 % и более запросов касаются фигурантов, которые не имеют отношения к организации по ним формируются одинаковые типовые ответы. На этот вид запросов тратится основная доля времени сотрудников, задействованных в обработке запросов от исполнительных органов. Большое количество одинаковых рутинных ручных операций, которые требуются для формирования ответа.

Относительно большое количество запросов от шестисот до восьмисот штук в день. При этом «парализуется» работа сотрудника, его рабочее время полностью отводится на обработку запросов.

Запросы от исполнительных органов поступают в канцелярию, где документ регистрируется, сканируется сопроводительный документ. Присвоенный номер указывается в синем штампе в нижнем правом углу сопроводительного документа. Далее по каждому документу проверяются данные по ИНН и БИН сотрудников, для которых нужно предоставить информацию. Данные записываются в новый файл.

Автоматизация процесса подготовки ответов позволила бы исключить этот непродуктивный этап: система электронного документооборота (СЭД) может автоматически присваивать номер исходящей корреспонденции и не только, сортировать и обеспечивать быстрый поиск документов.

Автоматизация документооборота предлагает все необходимые инструменты для работы с документами, в том числе для регистрации документов в электронных журналах, соответствующих виду документа. При регистрации документу автоматически присваивается номер. Процедура регистрации может производиться в ручном и автоматическом режиме. При ручном режиме регистрации можно определить порядок регистрации: в штатном порядке, на месте пропуска или после какого-либо зарегистрированного ранее документа.

Довольно важной функцией при работе в системе электронного документооборота является возможность назначения задач по документам

для контроля исполнения, ознакомления, согласования и др. Каждый пользователь СЭД имеет собственные списки входящих и исходящих задач. Задачи могут назначаться как конкретным сотрудникам, так и элементам организационной структуры (должностям и подразделениям) и группам сотрудников. При назначении заданий можно указывать даты начала и окончания, прикладывать документы, выбирать ответственных и устанавливать приоритеты. Также можно задавать порядок согласования – последовательный или параллельный.

Автоматизация также исключает риск потери информации. Кто не сталкивался с ситуацией потери нужного документа. Использование системы электронного документооборота сводит к минимуму потерю документов в процессе работы.

Электронный документооборот позволяет держать под контролем все потоки документов, сократить затраты на рутинные действия и высвободить ресурсы компании со значительным повышением качества работы.

Оптимизированный с помощью системы автоматизации документооборот позволяет осуществлять передачу документов с этапа на этап практически мгновенно. В системе электронного документооборота не придется долго ждать, пока документы доставят в секретариат, секретарь рассортирует их по папкам, сотрудник зайдет за своей почтой и т.д.

Автоматизация непроизводительных этапов и рутинных операций позволяет высвободить ресурсы работников и направить их на выполнение работ, требующих интеллектуальной обработки.

Различные формы отчетов в системе электронного документооборота позволяют сделать анализ загрузки персонала, рационально перераспределить ресурсы. Автоматизация бизнес-процессов повышает эффективность взаимодействия работников. Снижается количество рабочих конфликтов. На систему сложно обидеться, например, за предоставление информации о просроченных заданиях, системе не надо напоминать о необходимости своевременно передавать обработанные документы на следующий этап и т.д.

Все автоматизированные системы имеют инструменты мониторинга состояния выполняемых процессов. Это позволяет выявить узкие места в процессах (например, задержки документов), своевременно принять решение об изменении бизнес-процесса. Таким образом, процессы становятся более прозрачными и управляемыми.

Автоматизация позволяет снизить количество субъективных ошибок. Когда процессы четко описаны и настроены в системе, минимизируется количество допускаемых ошибок в работе, не нужно тратить время, силы и материальные ресурсы на их устранение.

Системы электронного документооборота позволяют более эффективно использовать накопленные организацией знания (хранилище документов), практически исключают использование неактуальной информации.

ВЫВОДЫ

В статье приводятся решения, преследующие основной целью обеспечить сотрудников необходимыми и достаточными инструментами для выполнения своих должностных обязанностей и предоставлением соответствующей информацией, для их исполнения. Путем постоянной оптимизацией работы системы электронного документооборота автоматизировать процедуру обработки данных, обеспечить сохранность данных, сократить время выполнения заданий. Практическая значимость является замена ручного труда, экономия времени, автоматизация процесса обработки данных. Ожидаемые результаты, сокращение издержек, трудозатрат персонала, времени на выполнение функциональных обязанностей. Предполагаемая новизна, на основе системы электронного документооборота выбираются наилучшие и экономически выгодные решения, многие процессы выполнения должностных функций выполняются в автоматическом режиме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Астахова, Л. В.** Документационное обеспечение управления как отрасль деятельности // Делопроизводство. 2006. № 2. – С. 3–9.
- 2 **Афанасьева, Л. П.** Электронные документы в документообороте и архиве организации / Л. П. Афанасьева. // Секретарское дело. 2008. N 1. – С. 26–34.
- 3 **Гайфулина, М. В.** Автоматизированные системы регистрации документов компании : (опыт работы секретариата). // Секретарское дело. 2006. N 1. – С. 16–18.
- 4 **Герасименко, В. А.** Защита информации в автоматизированных системах обработки данных. – М., Энергоатомиздат, 2006.
- 5 **Живаева, О. В.** Управление информационными потоками промышленных предприятий на основе оптимизации документооборота Волгоград, 2006. 30 с.
- 6 **Максимович, Г. Ю.** Комплексный подход к внедрению информационных технологий во все сферы документационного обеспечения управления. // Секретарское дело. 2008. N 11. – С. 50–54.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

М. Т. Азаматов¹, О. А. Андреева²

Электрондық құжат айналымы жүйесінің жұмысын оңтайландыру – бизнес-процестерді жетілдіру процесі ретінде

^{1,2}Энергетикалық факультеті,

С. Торайғыров атындағы мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

M. T. Azamatov¹, O. A. Andreeva²

Optimization of work of the electronic document management system – as process of business processes improvement

^{1,2}Faculty of Energy Engineering,

S. Toraigyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Бұл мақалада электрондық құжат айналымы жүйесін жетілдіруге байланысты мәселелер қарастырылады. Атқарушы органдардың сұраулары мысалында келіп түсетін ақпаратпен жұмыс істеудің негізгі кезеңдері талданды. Ұйымның тиімді жұмысы үшін келіп түскен ақпаратты оңдеу бөлігінде электрондық құжат айналымының жұмысын тұрақты жетілдіру қажеттілігі анықталып, негізделді. Электрондық құжат айналымын оңтайландыруға байланысты негізгі проблемалар белгіленді.

This article discusses issues related to the improvement of electronic document management systems. The main stages of work with incoming information on the example of requests from the Executive bodies are analyzed. Identified and justified the need to constantly improve the work of electronic document management, in terms of processing incoming information for the effective operation of the organization. The main problems associated with the optimization of electronic document flow are indicated.

Р. А. Амриев¹, Д. Г. Бейсенов²

¹д.х.н., профессор, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: ²diasbeisenov@gmail.com

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЛЕГКОЙ И ТЯЖЕЛОЙ
УСТАНОВКИ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ
НА ПРОЦЕСС ГИДРООЧИСТКИ СЫРЬЯ
КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА НА ТОО «ПНХЗ»**

Рассматриваются процессы гидроочистки переработки нефтяных фракций, глубокого гидрообессеривания углеводородов разрабатываемые казахстанскими отраслевыми и научно-исследовательскими институтами. Описанные технологии характеризуются различной степенью превращения сырья, благодаря разным подходам к ведению процессов. Выбор наиболее эффективной технологии обуславливается целями производственной деятельности нефтеперерабатывающего предприятия, современным ценообразованием мирового рынка нефтепродуктов.

Ключевые слова: гидроочистка, переработка, газойль, нефтяные фракций.

ВВЕДЕНИЕ

Сущность гидроочистки заключается в процессе удаления из нефтепродуктов гетероатомных, непредельных соединений и частично полициклических аренов в среде водорода на катализаторах. Основное назначение процесса – гидрообессеривание тяжелых дистиллятов вакуумных газойлей, являющихся в дальнейшем сырьем установки каталитического крекинга и ректификации.

Процесс гидроочистки состоит в каталитическом гидрировании соединений, содержащих серу, азот, кислород с образованием летучих сернистых, азотистых, кислородосодержащих соединений (сероводорода, аммиака, воды), которые удаляются путем отпарки в ректификационных

колоннах. Одновременно происходит насыщение непредельных, ароматических соединений, разложение металлоорганических соединений с адсорбцией катализатором металлов, разложение галоидных соединений, содержащихся в поступаемом сырье. Кроме того, в условиях процесса на катализаторе частично протекают реакции изомеризации парафиновых и нафтеновых углеводородов, а также реакции гидрокрекинга.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основными параметрами, характеризующими процесс гидроочистки, является:

- температура;
- давление;
- объемная скорость подачи сырья;
- кратность циркуляции водородсодержащего газа (ВСГ) по отношению к сырью.

Из всех параметров процесса наиболее важный – температура. В первом приближении скорость гидроочистки возрастает с повышением температуры, но избирательность процесса снижается, увеличивается образование легких продуктов и отложение кокса на катализаторе.

Тяжелое термически стойкое сырье очищают при более высокой температуре, чем легкое сырье. Наиболее целесообразно вести процесс при максимальной температуре способствующей снижению побочных реакций, не вызывающей образование кокса, предел которой, в зависимости от условий и характера сырья, составляет 350–450 °С. Во избежание коксоотложения на катализаторе, не рекомендуется для данного процесса повышение температуры выше 420 °С.

Для процесса гидроочистки оптимальным считается давление в пределах 4580 кг/см² в зависимости от химического состава сырья и требований к качеству гидрогенизата.

Повышение общего давления ВСГ на входе в реактор способствует увеличению глубины обессеривания, увеличивает скорость гидрообессеривания, уменьшает коксообразование, увеличивает межрегенерационный цикл катализатора, но в определенных пределах рост глубины обессеривания от повышения давления незначителен. При возрастании общего давления растет парциальное давление водорода, способствующее увеличению глубины гидроочистки. Парциальное давление водорода также зависит от концентрации водорода в водородсодержащем газе. Чем выше концентрация водорода в циркулирующем ВСГ, тем меньше энергозатраты привода компрессора, тем больше межрегенерационный цикл катализатора, связанный со снижением скорости коксообразования при увеличении парциального давления водорода.

Объемная скорость подачи сырья – это отношение объема сырья, подаваемого в реактор в час к объему катализатора в реакторе:

$$s = \frac{\text{расход сырья, м}^3/\text{час}}{\text{объем катализатора, м}^3}$$

$$\left(\frac{\text{м}^3}{\text{час}}\right) = \frac{1}{\text{час}} = \text{час}^{-1}$$

Объемная скорость влияет на степень и избирательность обессеривания, а также на соотношение интенсивности реакций гидроочистки и гидрокрекинга. С учетом принятой проектом глубины обессеривания оптимальной считается объемная скорость в пределах 0,8÷1,2 ч⁻¹.

С увеличением объемной скорости уменьшается время пребывания сырья в реакторе, т.е. время контакта с катализатором, при этом уменьшается глубина гидрообессеривания сырья. При уменьшении объемной скорости увеличивается глубина обессеривания, т.к. увеличивается время контакта сырья с катализатором. При выборе объемной скорости учитывают температуру, давление, состав сырья, состояние катализатора.

Процесс гидрообессеривания проводится в условиях высокого парциального давления водорода. В качестве источника водорода используется ВСГ с установки производства водорода.

Соотношение водород / сырье зависит от количества ВСГ, подаваемого на смешение с сырьем, концентрации водорода в циркулирующем ВСГ и количества загружаемого сырья.

Количество циркулирующего ВСГ зависит от давления на приеме циркуляционных компрессоров.

Повышение давления в системе реакторного блока, увеличение концентрации водорода в циркулирующем ВСГ, увеличение подачи циркулирующего ВСГ на смешение с сырьем способствуют протеканию реакций гидрообессеривания, увеличивают глубину очистки сырья от серосодержащих соединений, т.к. повышение их ведет к увеличению соотношения «водород / сырье».

Проведение процесса гидроочистки при высоком соотношении водорода к сырью снижает отложение кокса на катализаторе, тем самым увеличивает межрегенерационный пробег установки.

Кратность циркуляции водородсодержащего газа выражается отношением объема газа в м³, приходящегося на 1 м³ сырья.

В качестве катализаторов для гидрогенизационных процессов переработки сернистых нефтепродуктов наибольшее распространение

получили алюмо-кобальт-молибденовый и алюмо-никель-молибденовый катализаторы. Они обладают высокой активностью в разрыве связей С-S, С-N и С-O, в реакциях насыщения алкеновых двойных связей, малой активностью в нежелательных реакциях разрыва связей С-C, и низкой активностью в реакциях полимеризации и конденсации, высокой термической стойкостью и практически полной нечувствительностью к каталитическим ядам.

Активность катализатора – величина относительная, показывающая насколько обессеривающая способность данного катализатора отличается от обессеривающей способности эталонного катализатора для одного и того же нефтепродукта. Чем выше активность катализатора, тем с более высокой объемной скоростью можно проводить процесс, обеспечивая заданную глубину обессеривания.

На данной установке применяется пакет катализаторов (слоеный пирог), состоящий из нескольких слоев основного катализатора (в целом обеспечивающих гидрирование гетероорганических, непредельных и ароматических соединений), а так же верхних и нижних защитных слоев (служащих для деметаллизации, снижения коксуемости сырья, предотвращения отравления основного катализатора, снижения перепада давления).

Активными компонентами катализатора являются оксиды никеля, кобальта и молибдена на алюмосиликатной матрице, которые после загрузки в реактор переводятся в сульфидную форму.

Активность свежего катализатора достигает максимальной величины в процессе его активации путем продувки в течение нескольких часов водородсодержащим газом при температуре 300–400 °С.

С течением времени, в процессе проведения реакций гидроочистки, активность катализатора падает за счет отложения кокса и металлов на его поверхности. За счет накопления на катализаторе углеродистых отложений, увеличивается сопротивление слоя катализатора, возрастает перепад давления в реакторах между входом и выходом. При значительном падении активности, которая не может быть повышена изменением параметров процесса в допустимых пределах, реакторный блок переводится на цикл регенерации катализатора. Содержание в сырье механических примесей также приводит к понижению активности катализатора, создает дополнительное гидравлическое сопротивление в системе реакторного блока за счет загрязнения теплообменников и катализатора.

Снижение парциального давления водорода в циркулирующем газе и ужесточение режима процесса (повышение температуры процесса, снижение объемной скорости) способствует закоксуыванию катализатора.

При частичной потере активности катализатора восстановление его активных центров осуществляется за счет частичного гидрирования и

десорбции с поверхности катализатора продуктов уплотнения, насыщения его поверхности водородом путем выдержки катализатора в токе водородсодержащего газа при температуре реакции.

С целью снижения на поверхности катализатора высокомолекулярных полимерных соединений катализатор промывается растворителем (дизельным топливом).

Глубина гидрогенизации уменьшается с увеличением молекулярного веса сырья. Это объясняется увеличением вязкости фракции и увеличением содержания тиофеновой серы, трудно удаляемой в процессе гидроочистки. Изменение содержания серы и непредельных углеводородных соединений влияет на расход водорода и выделение тепла.

Выбором наиболее рационального соотношения перечисленных параметров достигают максимальной эффективности и экономичности процесса.

ВЫВОДЫ

Проведя испытания можно сделать выводы, что при вовлечении ЛГ увеличиваются расход и количество легких фракций с установки и уменьшение выхода гидроочищенного газойля, уменьшение температуры печей в связи с облегчением фракции.

При вовлечении только ТВГ уменьшается расход и количество легких фракций (дизельного топлива), увеличиваются температуры печей в связи с утяжелением фракции, увеличение серы в исходном сырье в связи с ненормируемым количеством серы на установке УЗК, вследствие увеличивается сера в конечном продукте.

При вовлечении ТВГ и ЛВГ УЗК вместе стабилизируются расходы легких фракций и гидроочищенного газойля, а также регламентируемых норм.

Впоследствии выбранного метода урегулирования регламентируемого баланса является увеличение глубины переработки комплекса в целом, так как газойли УЗК используются в качестве котельного топлива, которое далее не перерабатывается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Каминский, Э. Ф., Хавкин, В. А., Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э. Ф. Каминский. – М. : Издательство «Техника», 2001. – 384 с.

2 Капустин, В. М., Гуреев, А. А., Технология переработки нефти и газа. Ч. II. Физико-химическая технология переработки углеводородного сырья / В. М. Капустин. – М. : Колосс, 2006. – 480 с.

3 Омаралиев, Т. О., Специальная технология производства топлив из нефти и газа / Т. О. Омаралиев. – Астана. : Фолиант, 2004. – 296 с.

4 Баннов, П. Г., Процессы переработки нефти. Ч. II / П. Г. Баннов. – М. : Химия, 2001. – 224 с.

5 Фролов, В. Ф., Флисюк, О. М., Процессы и аппараты химической технологии / В. Ф. Фролов. – Спбю. : Синтез, 2008. – 468 с.

6 Ахметов, С. А., Технология глубокой переработки нефти и газа / С. А. Ахметов. – СПб. : Недра, 2013. – 544 с.

7 Ланчаков, Г. А., Кульков, А. Н., Зиберт, Г. К. Технологические процессы подготовки природного газа и методы расчета оборудования. – М. : Недра–Бизнесцентр, 2000. – 279 с.

8 Чуракаев, А. М. Газоперерабатывающие заводы. Технологические процессы и установки. – М. : Химия, 2001.

9 Анисонян, А. А. Очистка диэтиленгликоля и промстоков методом адсорбции. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. : ВНИИГАЗ, 2001. – 132 с.

10 Рыбак, Б. М. Анализ нефти и нефтепродуктов. – М. : Гостоптехиздат, 1998. – 888 с.

11 Бородина, И. И. Интенсификация процесса осушки конденсат–содержащего газа гликолями (на примере головных сооружений газопровода Ставрополь–Москва). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ставрополь : СевКавНИПИгаз, 1999. – 198 с.

12 Барков, И. И., Шаронов, К. Г., Рожнов, А. М. и др. Влияние примесей на смолообразование и термическую стабильность диэтиленгликоля // Химия и технология топлив и масел, 1976. – № 9. – С. 35–36.

13 Форстер, Р., Гризе, К., Кэслер, Х. Современная технология осушки природного газа на базе ингибиторов старения и путем фильтрации по точке помутнения // Новые высокие технологии, 2001. – Т. 10. – Кн. 2. – С. 231–239.

14 Барков, И. И., Шаронов, К. Г., Рожнов, А. М. и др. Адсорбционная очистка диэтиленгликолей от легких примесей // Химия и технология топлив и масел, 2003. – № 3. – С. 11–13.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Р. А. Амриев¹, Д. Г. Бейсенов²**«ПНХЗ» ЖШС-де каталитикалық крекинг шикізатын гидротазарту процесіне жеңіл және ауыр газойлының әсерін талдау**^{1,2}Химиялық технологиялар және жаратылыстану факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.R. A. Amriev¹, D. G. Beisenov²**Analysis of the impact of light and heavy gasoil on the process of hydrotreatment of catalytic cracking raw materials**^{1,2}Faculty of Chemical Technologies and Natural Sciences,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Мақалада өндірістік қорлар (қор қайтарымы) мен қызметкерлердің тиімділігін арттыру тәсілі, талап етілетін өнімділік пен минималды тәуекелдерді пайдалануға жұмсалған шығындарды оңтайландыру, сенімділікті арттыру, техникалық ресурсты ұтымды пайдалану ұсынылған.

The method of increasing the efficiency of productive funds (capital productivity) and staff, optimizing operating costs with minimum risks and required performance, improving reliability, and sustainable use of the technical resource is presented in the article.

ГРНТИ 45.29.31

О. А. Андреева¹, Т. В. Гоненко²¹к.т.н., ассоц. профессор (доцент), Энергетический факультет,
Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,
г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;²к.т.н., доцент, Факультет информационных технологий и компьютерных систем,
Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050,
Российская Федерация;e-mail: ¹andreyeva.aa@mail.ru; ²gonenko_t@mail.ru**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В статье рассматриваются вопросы математического моделирования магнитного поля асинхронного двигателя. В программном комплексе Ansys Maxwell разработаны математические модели, основанные на методе конечных элементов, которые позволяют исследовать внешнее магнитное поле и магнитное поле воздушного зазора асинхронного двигателя. Выявленные в спектре внешнего магнитного поля асинхронного двигателя гармонические составляющие влияют на спектр радиальной составляющей. С их помощью можно выявить наличие обрыва стержней обмотки ротора и оценить влияние эксплуатационных факторов (несимметрия питающего напряжения, изменение нагрузки, статический и динамический эксцентриситет ротора).

Ключевые слова: математическое моделирование, магнитное поле воздушного зазора, повреждения обмотки асинхронного двигателя.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время метод конечных элементов является основным численным методом, применяемым для моделирования распределения физического поля. Как правило, метод конечных элементов находит решение любой технической задачи, которая может быть описана конечным набором пространственных уравнений частной производной с определенными граничными начальными условиями.

Одной из ведущих компаний, предлагающих эффективные программные средства для моделирования различных процессов с помощью метода конечных элементов, является Ansys. Поэтому для компьютерного моделирования внешнего магнитного поля (ВМП) асинхронного двигателя (АД) был выбран хорошо зарекомендовавший себя программный комплекс Ansys Maxwell, который обладает широкими возможностями по автоматизации создания моделей электрических машин. В данной статье изучено распределение внешнего магнитного поля и магнитного поля воздушного зазора АД, используя программный пакет моделирования Ansys Maxwell.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для моделирования были выбраны два АД с различным числом пар полюсов, параметры которых представлены в таблице 1. Это позволит в дальнейшем сделать вывод о корректности результатов моделирования, полученных с помощью Ansys Maxwell, и целесообразности дальнейшего применения этого программного комплекса.

Таблица 1 – Параметры тестовых АД

Параметр	Тип двигателя	
	ЗВР71-2	АИР 71А6
Число пар полюсов	1	3
Номинальная мощность, Вт	250	370
Напряжение, В	380	380
Номинальный ток, А	0,56	1,4
Номинальная частота вращения, об/мин	2880	900
КПД, %	–	0,65
Коэффициент мощности, о.е.	0,83	0,63
Число пазов статора	24	36
Число стержней обмотки ротора	19	33

На начальном этапе моделирование АД осуществлялось с помощью специального расчетного модуля Ansys RMXprt, который использует классическую аналитическую теорию электрических машин и метод эквивалентной магнитной цепи для вычисления рабочих характеристик машин с учётом таких эффектов, как нелинейность электротехнической стали, несинусоидальность магнитного потока в зазоре и вытеснение тока в массивных проводниках. Исходные данные, необходимые для создания моделей АД в программном комплексе Ansys Maxwell, взяты из справочной

литературы [2]. С помощью инструмента RMXprt были рассчитаны основные рабочие характеристики АД, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные параметры АД

Параметр	Тип двигателя	
	ЗВР71-2	АИР71А6
Мощность, Вт	250	370
Фазный ток статора в номинальном режиме, А	0,567	1,38
Частота вращения в номинальном режиме, об/мин	2881,1	945,6
КПД, %	82,4	64,7
Коэффициент мощности в номинальном режиме, о.е.	0,8	0,623

Полученные расчетные характеристики АД оказались весьма близки к номинальным параметрам, представленным в таблице 1.

После подтверждения соответствия расчетных характеристик АД их номинальным значениям, с помощью инструмента RMXprt было выполнено создание конечноэлементных моделей, в основе которых лежит численное решение дифференциальных уравнений Максвелла в конечной области пространства с соответствующими граничными условиями методом конечных элементов [2, 3]

$$\begin{aligned}
 \nabla \times H &= J + \partial D / \partial t, \\
 \nabla \times E &= \partial B / \partial t, \\
 \nabla \times D &= \rho, \\
 \nabla \times J + \partial \rho / \partial t &= 0, \\
 D &= \varepsilon \cdot E, \\
 B &= \mu \cdot H, \\
 J &= \sigma \cdot E,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где H – напряженность электрического поля;

J – плотность тока;

D – электрическая индукция;

E – напряжённость электрического поля;

B – магнитная индукция;

ρ – объёмная плотность стороннего электрического заряда;

ε – диэлектрическая проницаемость;

μ – магнитная проницаемость;

σ – удельная проводимость.

Помимо самих АД также были смоделированы реальные датчики. В воздушном зазоре каждого АД размещен внутренний индуктивный датчик (ВИД), представляющий собой два витка провода, намотанных на зубец статора. Вблизи корпуса АД размещена точка, имитирующая датчик Холла (ДХ), в которой регистрируется радиальная составляющая индукции магнитного поля. Обрыв стержня ОР моделировался путем удаления одного из стержней из геометрии модели. Геометрия моделей АД вместе с сеткой конечных элементов представлена на рисунке 1, на рисунке 2 показано расположение датчиков.

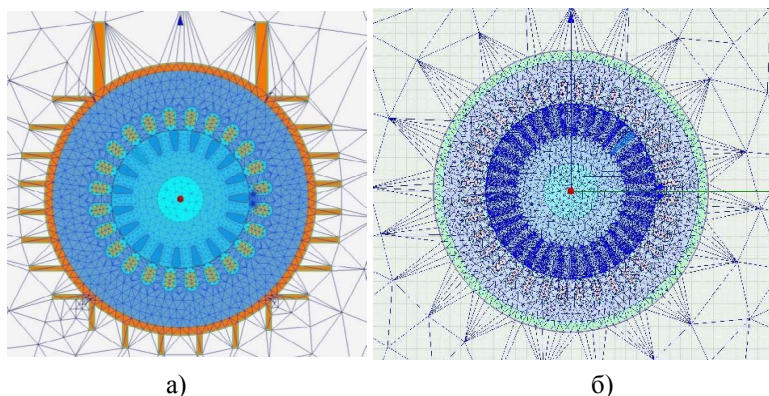


Рисунок 1 – Геометрия математической модели первого (а) и второго (б) АД

Исходными данными являются напряжение, приложенное к выводам обмотки статора в начальный момент пуска, момент сопротивления на валу ротора, геометрия АД и характеристики конструктивных материалов (корпуса, магнитопроводов статора и ротора, проводников обмоток статора и ротора, вала ротора).

Модель первого АД выполнена с оребрением корпуса, однако эксперименты показали, что оребрение, выполненное из немагнитных материалов (в данном случае это силумин), практически не влияет на результаты моделирования, поэтому при создании модели второго АД в целях упрощения геометрии и уменьшения количества конечных элементов, корпус АД был сделан гладким.

Геометрия модели второго АД вместе с сеткой конечных элементов представлена на рисунке 1,б, расположение датчиков аналогично рисунку 2.

Разработанные математические модели АД позволяют моделировать процесс пуска машины и ее работу в установившемся режиме. В качестве

граничного условия было принято, что на расстоянии 1 м от корпуса АД векторный магнитный потенциал равен нулю, так как электромагнитные поля исследуемых АД невозможно зарегистрировать при удалении датчика поля от корпуса на расстояние более 40 см. При этом, согласно [1, 2, 3] связь векторного магнитного потенциала A с магнитной индукцией описывается как $B = \nabla \times A$. Ввиду двухмерной постановки задачи скос пазов ротора не учитывается.

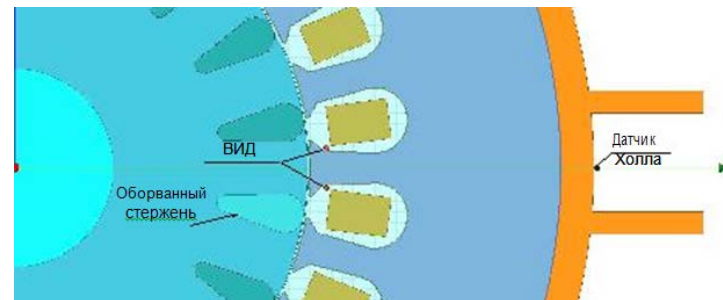


Рисунок 2 – Расположение датчиков на модели двигателя

Согласно [5-6], обрыв стержня клетки ротора вне зависимости от полноты машины приводит к перераспределению тока по стержням. Новое распределение тока можно математически представить в виде суммы первоначального тока (при отсутствии обрыва стержня) и фиктивного (добавочного) тока от оборванного стержня, причем в оборванном стержне фиктивный ток равен и противоположен первоначальному, что обеспечивает равенство нулю тока в оборванном стержне. Из сказанного следует, что обмотку ротора с поврежденными стержнями можно представить двумя обмотками – одна из которой будет исправной, а другая – фиктивной (ФОР), в которой по оборванным стержням протекают фиктивные токи, которые далее замыкаются по исправным стержням. Фиктивные токи наводят в воздушном зазоре машины свое магнитное поле.

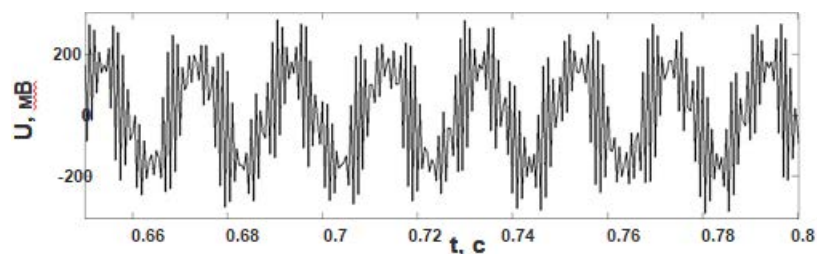
Частоты гармоник магнитного поля, вызванного фиктивными токами при любом числе оборванных стержней и расположении их по отношению друг к другу, описываются формулой

$$f_{\text{ФОР}}^{(v\pm)} = f_c \left(\frac{1-s}{p} v \pm s \right) \quad (2)$$

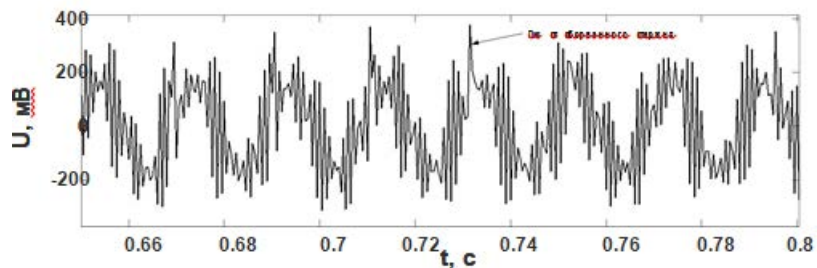
где f_c – частота сети;
 s – скольжение;
 v – порядок гармоники.

Каждому порядку гармоник амплитудного спектра, генерируемого фиктивными токами, принадлежат две гармоники, одна из которых имеет нижнюю боковую частоту $f_{\text{ФОР}}^{(v-)}$, а другая – верхнюю боковую частоту $f_{\text{ФОР}}^{(v+)}$, значения которых отличаются на величину $\Delta f^{(v)} = 2f_c s$. В целях упрощения приняты следующие обозначения гармоник – ФОР_{v±}, где ФОР_{v-} будет обозначать гармонику ФОР v-ого порядка на нижней боковой частоте соответственно, а ФОР_{v+} – на верхней боковой частоте $f_{\text{ФОР}}^{(v+)}$.

На рисунках 3 и 4 показаны формы сигналов, полученных с датчиков ВИД АД №1 и АД №2 соответственно при номинальной нагрузке на валу ротора.



а) исправная обмотка ротора

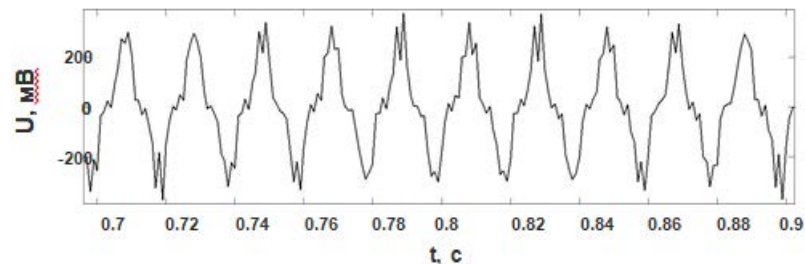


б) обмотка ротора с одним оборванным стержнем

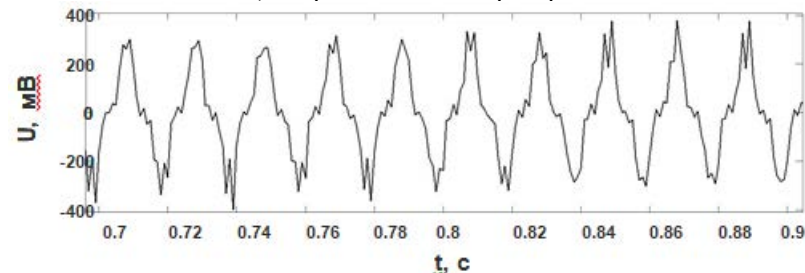
Рисунок 3 – Форма сигнала с датчика ВИД АД № 1 при номинальной нагрузке

Для подтверждения корректности работы модели произведем анализ виртуальных сигналов, полученных с датчика ВИД, и сравним их с результатами, полученными из известных литературных источников [4, 5, 6].

Анализ виртуальных данных измерений, полученных в ходе компьютерного моделирования, был произведен с помощью разработанного анализатора спектра, принципы работы которого рассмотрены в [9].



а) исправная обмотка ротора

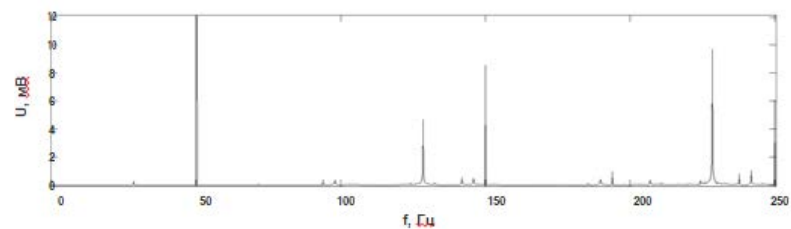


б) обмотка ротора с одним оборванным стержнем

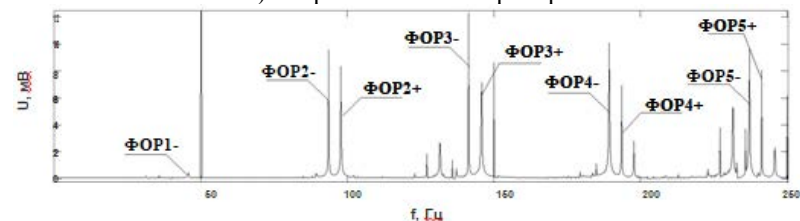
Рисунок 4 – Форма сигнала с датчика ВИД АД № 2 при номинальной нагрузке

С помощью спектрального анализа полученных сигналов произведено исследование воздействия обрыва стержней ОР АД на спектр магнитного поля воздушного зазора.

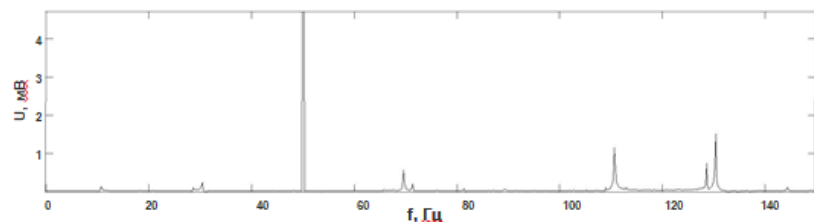
На рисунках 5, 6 показаны спектры сигналов, полученных с датчиков ВИД АД № 1 и АД № 2 соответственно при номинальной нагрузке. Проанализируем полученные результаты. Из рисунков 5 и 6 видно, что обрыв стержня обмотки ротора действительно существенно влияет на магнитное поле воздушного зазора АД, что выражается в существенном увеличении амплитуд определенных гармонических составляющих сигнала. Например, значительный рост продемонстрировали гармоники, частоты которых совпадают с частотами гармоник ФОР, определяемых выражением (2), при этом относительное увеличение амплитуд может составлять 10 и более раз.



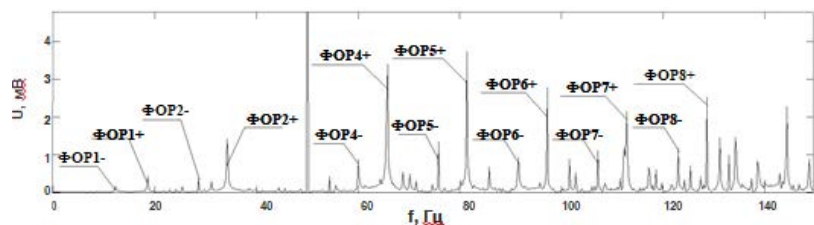
а) исправная обмотка ротора



б) обмотка ротора с одним оборванным стержнем
Рисунок 5 – Спектр сигнала с датчика ВИД АД № 1 при номинальной нагрузке



а) исправная обмотка ротора



б) обмотка ротора с одним оборванным стержнем
Рисунок 6 – Спектр сигнала с датчика ВИД АД № 2 при номинальной нагрузке

Полученные результаты согласуются с данными из открытых источников [4, 5, 6] и результатами экспериментов. Таким образом, можно сделать вывод, что обнаруженные гармоники действительно являются гармониками ФОР, а компьютерное моделирование магнитного поля воздушного зазора АД с поврежденной ОР с помощью Ansys Maxwell является корректным.

Из результатов исследований, приведенных в [5], следует, что величина амплитуды какой-то одной конкретной гармоники ФОР зависит от числа и места расположения оборванных стержней в ОР. Поэтому в некоторых случаях ее величина при наличии поврежденных стержней может быть близка к нулю.

Ввиду вышесказанного, с точки зрения обеспечения достоверности результатов контроля, полагаться на измерение какой-то одной гармоники нерационально, поэтому целесообразно подобрать такой диагностический параметр обрыва стержней обмотки ротора, который учитывал бы амплитуды сразу нескольких гармоник ФОР.

В качестве такого диагностического параметра предлагается интегральный показатель – средняя мощность сигнала индукции ВМП, которая может быть определена по равенству Парсевала [9] по выражению

$$P_{\text{ФОР}} = \frac{1}{2} \left(\sum_{v=1}^n B^{v-2} + \sum_{v \neq pn} B_{v+2} \right) \quad (3)$$

где B_{v-} , B_{v+} – амплитуды гармоник ФОР v -го порядка на нижней ($v-$) и верхней ($v+$) боковой частотах;

n – предельный порядок учитываемых гармоник.

Данная величина позволит оценивать состояние ОР не путём сравнения амплитуды каждой гармонической составляющей с граничными значениями, а путём сравнения значения всего одного параметра с граничным. При этом даже в случае возрастания отдельных гармонических составляющих значение средней мощности сигнала будет определяться совокупностью гармоник, что позволит оценивать состояние двигателя с более высокой достоверностью.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования показали, что обрыв стержня ОР приводит к почти стократному увеличению средней мощности сигнала ФОР. В реальных АД это соотношение должно быть меньше из-за естественной несимметрии ОР, эксцентриситета ротора и иных факторов.

На основании представленных выше результатов можно сказать, что средняя мощность сигнала ФОР может быть использована в качестве диагностического параметра для определения повреждений ОР АД.

Результаты исследования показали, что гармоники высоких порядков практически не оказывают влияния на величину средней мощности, что особенно явно выражено для АД № 1 с одной парой полюсов, поэтому для определения средней мощности сигнала ФОР будет вполне достаточно ограничиться гармониками пятого порядка.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что математические модели, основанные на методе конечных элементов, позволяют получить достоверные результаты при моделировании радиальной составляющей ВМП АД с оборванным стержнем ОР и могут быть использованы на практике для определения пороговых значений диагностического параметра обрыва стержней ОР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины: Учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.

2 **Бессонов, Л. А.** Теоритические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов / Л. А. Бессонов. – 8-е изд. – М., Высш. шк., 1986. – 263 с.

3 **Сильвестер, П.** Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков / П. Сильвестер, Р. Феррари. – М.: Мир, 1986. – 229 с.

4 **Рассказчиков, А. В.** Разработка и исследование системы эксплуатационного контроля электродвигателей собственных нужд электростанций: Дис. канд. тех. наук: 05.14.02. – ЛПИ, 1982. – 195 с.

5 **Скоробогатов, А. А.** Разработка методов контроля состояния короткозамкнутых обмоток роторов электродвигателей собственных нужд электростанций: Дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02. – Иваново, 2006. – 155 с.

6 Rotor fault and location detector for induction motors: pat. USA US4808932 A G01R 31/02, 1989.

7 **Клоков, Б. К.** Ремонт обмоток электрических машин высокого напряжения: Учебное пособие / Б. К. Клоков, Р. Б. Уманцев. – М.: Высшая школа, 1991. – 191 с.

8 **Кузнецов, Н. Л.** Надежность электрических машин: Учебное пособие /

9 **Андреева, О. А.** Разработка методов диагностики двигателей собственных нужд электрических станций: Дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02. – Новосибирск, 2009. – 159 с. 187

10 O'Donnell, P. IEEE Reliability Working Group. Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, part I, II & III. / P. O'Donnell // IEEE Transactions on Industry Applications, 1985. – vol. IA-21. – № 4. – P. 853–872.

11 **Tavner, P.** Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines / P. Tavner et al. – The Institution of Engineering and Technology, 2008. – 543 p.

12 **Глазырина, Т. А.** Совершенствование методов диагностики асинхронных двигателей на основе анализа потребляемых токов: Дис. канд. тех. наук: 05.14.02. – Томск, 2012. – 120 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

О. А. Андреева¹, Т. В. Гоненко²

Асинхронды қозғалтқыштың зақымдануын диагностикалау үшін соңғы элементтер әдісімен сыртқы магнит өрісін компьютерлік модельдеуді қолдану

¹Энергетика факультеті,

С. Торайғырова атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

²Ақпараттық технологиялар және компьютерлік жүйелер факультеті,
Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Омбы қ., 644050, Ресей Федерациясы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

О. А. Andreeva¹, Т. V. Gonenko²

The use of computer modeling of the external magnetic field by the finite element method to diagnose damage to the induction motor

¹Faculty of Energy Engineering,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²Faculty of Information Technologies and Computer Systems,
Omsk State Technical University,
Omsk, 644050, Russian Federation.
Material received on 12.06.19.

Мақалада асинхронды қозғалтқыштың магнит өрісін математикалық модельдеу мәселелері қарастырылады. Ansys Maxwell бағдарламалық кешенінде асинхронды қозғалтқыштың ауа саңылауының магниттік өрісін және сыртқы магнит өрісін зерттеуге мүмкіндік беретін соңғы элементтердің әдісіне негізделген математикалық модельдер жасалған. Модельдеу нәтижелерін талдау асинхронды қозғалтқыштың сыртқы магнит өрісінің спектрінде радиалды құрауыштың спектріне әсер ететін гармоникалық құрауыштар бар екенін көрсетті. Олардың көмегімен

ОР өзекшелерінің үзілуінің болуын және пайдалану факторларының әсерін анықтауға болады (қоректендіруші кернеудің симметриясы, жүктеменің өзгеруі, ротордың статикалық және динамикалық Экссентриситеті).

The article deals with the problems of mathematical modeling of the magnetic field of an asynchronous motor. The software package Ansys Maxwell developed mathematical models based on the finite element method, which allow to study the external magnetic field and the magnetic field of the air gap of the induction motor. Analysis of the simulation results showed that the spectrum of the external magnetic field of the induction motor contains harmonic components that affect the spectrum of the radial component. With their help, it is possible to detect the presence of the breakage of the op rods and the influence of operational factors (asymmetry of the supply voltage, load change, static and dynamic eccentricity of the rotor).

ГРНТИ 44.29.37

М. А. Ауельбек¹, С. С. Исенов², Н. Н. Нуржан³

¹к.т.н., ст. преподаватель, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

²к.т.н., ассоц. профессор, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

³магистр, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

e-mail: ¹m.auyelbek@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА КАЗАХСТАНА

В научной статье рассмотрена возможность проведения организационных мероприятий по совершенствованию электроэнергетического рынка страны и оптимизации режимов работы электрических сетей и электростанций, что способствует снижению потерь электроэнергии.

Ключевые слова: электроэнергетический рынок, повышение эффективности, электрическая сеть, энергопередающая организация, организационные мероприятия.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности работы экономики всегда является одной из основных задач любого государства. В современных условиях электроэнергия играет жизненно важную роль во всех отраслях промышленности и в быту.

Республика Казахстан в силу своих географических особенностей имеет довольно протяженные электрические сети, вследствие чего затраты электросетевых компаний на покупку электроэнергии на компенсацию потерь электроэнергии составляет большую долю. Особенно актуальными являются вопросы по снижению потерь электроэнергии. Согласно «Инструкции по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем», имеется два основных вида мероприятий по снижению технологического расхода электроэнергии

(потерь электроэнергии) на передачу по электрическим сетям (далее – мероприятия): технические и организационные мероприятия [1].

Технические и часть организационных мероприятий электросетевые компании могут выполнить самостоятельно. Вместе с тем, имеются организационные мероприятия по оптимизации режимов работы электрических сетей и электростанций, которые на уровне предприятий реализовать практически невозможно. Такие мероприятия требуют реформирования механизмов действующего электроэнергетического рынка.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В научной статье рассмотрена возможность проведения ряда мероприятий по совершенствованию электроэнергетического рынка страны, способствующих снижению потерь электроэнергии, среди которых [1, 2]:

1 Создание стимулов для потребителей оптового рынка электроэнергии к выравниванию графика нагрузки.

2 Совершенствование механизмов контроля и регулирования потребления/генерации реактивной мощности.

3 Обеспечение возможности управления загрузкой электростанций по критерию минимума суммарных издержек на выработку и передачу электроэнергии.

4 Внедрение стимулов развития регулирующих электрических мощностей.

5 Использование преимуществ параллельной работы с энергосистемами соседних государств в целях снижения потерь электроэнергии в электрической сети без ущерба для казахстанских энергопроизводящих организаций.

Рассмотрим каждое мероприятие более подробно.

1. Создание стимулов для потребителей оптового рынка электроэнергии к выравниванию графика нагрузки.

Для наглядной демонстрации эффекта от выравнивания графика нагрузки приведем следующий пример (рисунок 1).

Примем $U = 1000$ В, $\cos \varphi = 1$, $R = 1$ Ом, где U – напряжение, $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, R – активное сопротивление.

Рассмотрим два режима (рисунок 1) с одинаковым передаваемым объемом электроэнергии. $W = P \cdot t$, $P = I \cdot U \cdot \cos \varphi$, где W – активная электроэнергия, P – активная мощность, t – время, I – ток в линии:

Режим 1: $(20+30+50+60+150+60+40+20) \text{ А} \cdot 1000 \text{ В} \cdot 1 \text{ ч} = 430 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;

Режим 2: $(45+50+55+55+70+55+55+45) \text{ А} \cdot 1000 \text{ В} \cdot 1 \text{ ч} = 430 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Нагрузочные потери электроэнергии в линии будут следующими ($\Delta W = I^2 \cdot R \cdot t$):

Режим 1: $(20^2+30^2+50^2+60^2+150^2+60^2+40^2+20^2) \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ ч} = 35,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;

Режим 2: $(45^2+50^2+55^2+55^2+70^2+55^2+55^2+45^2) \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ ч} = 23,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

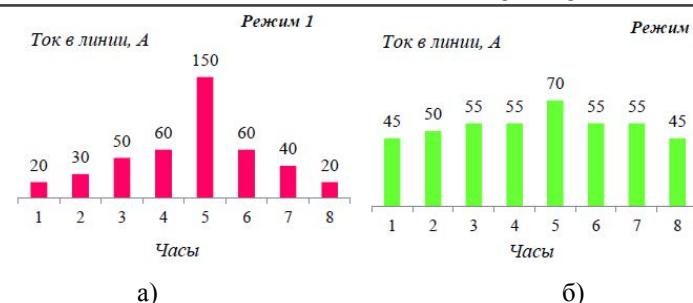


Рисунок 1 – Режимы с разными пиковыми нагрузками

В режиме 2 потери почти в 1,5 раза ниже, чем в режиме 1. Отсюда видно, что выравнивание графиков нагрузки является эффективным мероприятием по снижению потерь электроэнергии в электрической сети. В реальности эффект от выравнивания графиков нагрузки будет меньше, чем в рассмотренном примере. Но даже снижение потерь в электрических сетях Казахстана на 1 % дает очень большой экономический эффект [1, 2].

В настоящее время в стране на действующем рынке электроэнергии многие потребители оплачивают электроэнергию по неизменным в течение суток тарифам, что приводит к излишней перегрузке электрических сетей в часы максимума. Балансирующий рынок в реальном режиме не работает. Вместе с тем практически на всех электроэнергетических рынках развитых стран имеются механизмы, стимулирующие потребителей к выравниванию графиков нагрузки, в большинстве случаев с помощью балансирующего рынка.

Возможным решением был бы ввод балансирующего рынка в реальном режиме. Дифференцированная оплата за передачу электроэнергии в зависимости от времени суток.

Выделим основные выгоды для:

1) Потребителей снижается цена на электроэнергию по причине исключения из тарифа на передачу повышенных потерь электроэнергии, возникающих при перегрузе сетей в часы максимума.

2) Энергопередающих организаций снижаются максимумы нагрузки энергосистемы за счет чего снижаются потери электроэнергии в сети, более эффективно используется пропускная способность сети.

3) Энергопроизводящих организаций появляется возможность увеличить свои доходы за счет продажи электроэнергии на балансирующем рынке (в настоящее время балансирующая электроэнергия к нам поступает, в основном, из соседних стран). Наиболее дорогие энергоисточники, электроэнергия которых в существующей модели рынка не востребована, могут продавать генерируемую электроэнергию на балансирующем рынке.

4) Республики снижение потерь в электрических сетях, дополнительный стимул для развития электростанций, поддержка существующих электростанций с дорогой электроэнергией, увеличение ВВП страны за счет увеличения генерации электроэнергии в стране.

2 Совершенствование механизмов контроля и регулирования потребления/генерации реактивной мощности.

Из источника [2] известно, что нагрузочные потери электроэнергии в линиях электропередачи и трансформаторах создаются токами, протекающими через эти элементы. Причем указанные потери активной энергии возникают вследствие протекания как активной, так и реактивной энергии. Таким образом, если уменьшить переток реактивной энергии по электрической сети, то можно существенно снизить потери электроэнергии. Это достигается снижением потребления реактивной мощности из сети путем установки источников реактивной мощности непосредственно на шинах потребителя [2].

В настоящее время в нормативных правовых документах (НПА) Республики Казахстан имеются следующие положения, касающиеся регулирования потребления реактивной мощности и коэффициента мощности нагрузки [3]:

– нормативные значения коэффициента мощности в электрических сетях индивидуальных предпринимателей и юридических лиц [3];

– в Кодексе РК «Об административных правонарушениях» имеется статья 289, «Несоблюдение нормативных значений коэффициента мощности в электрических сетях и превышение нормативов энергопотребления» [4].

Перечисленных положений НПА РК недостаточно по следующим причинам [3, 4]:

а) отсутствует методика измерения коэффициента мощности, а результаты при различных способах измерения могут сильно отличаться. Например, можно брать коэффициент мощности на основании показаний перетоков активной и реактивной электроэнергии по приборам учета электроэнергии, но неясно за какой период брать показания за год, месяц, сутки, час; можно измерять мгновенное значение коэффициента мощности, но опять непонятно в какие часы суток производить измерения; если к потребителю приходит несколько линий, то как учитывать суммарный коэффициент мощности (кто-то скажет, что надо просто выводить среднее значение по всем линиям, но вопрос не такой простой при наличии у потребителя генерирующих мощностей) и т.д.;

б) не имеется механизмов, обеспечивающих постоянное и систематическое измерение и контроль за потреблением реактивной мощности и немедленное выявление потребителей, не соблюдающих нормативные значения коэффициента мощности; уполномоченные

государственные органы в силу своей загруженности могут контролировать эти значения только в период проверок;

в) из-за более низкой цены потребители склонны устанавливать нерегулируемые батареи конденсаторов, которые обеспечивают нормативные значения коэффициента мощности при максимальных нагрузках, но тем самым возможна перекомпенсация в часы минимума нагрузки (ночью, в выходные дни и т.п.). Через некоторое время возможно существенная суммарная выдача в электрическую сеть излишней реактивной мощности от потребителей, что увеличит потери в сети, хотя одна из основных целей установления нормативных значений заключается в снижении потерь в электрической сети.

Возможным решением является разработка и ввод в действие методики определения фактического коэффициента мощности нагрузки потребителей, установление ответственных организаций (например, энергопередающие организации), которые на постоянной основе будут контролировать значения коэффициентов мощности потребителей и ежемесячно информировать уполномоченные об отклонениях от нормативных значений, корректировка нормативных значений с целью недопущения перекомпенсации реактивной мощности.

Выделим основные выгоды для:

1) Потребителей стабилизируется уровень напряжения сети, уменьшается амплитуда отклонения напряжений от номинальных значений, так как реактивная мощность влияет на уровень напряжения в сети, повышается пропускная способность сети для активной мощности за счет разгрузки по реактивной мощности.

2) Энергопередающих организации снижаются потери электроэнергии в сети, более эффективно используется пропускная способность сети.

3) Энергопроизводящих организаций создаются предпосылки для увеличения выдачи в сеть активной мощности за счет разгрузки генераторов по реактиву.

4) Республики снижение потерь в электрических сетях, стабилизация уровней напряжения у потребителей, увеличение ВВП страны за счет увеличения генерации электроэнергии в Республике Казахстан.

3 Обеспечение возможности управления нагрузкой электростанций по критерию минимума суммарных издержек на выработку и передачу электроэнергии.

Расходы на генерацию и передачу электроэнергии ложатся на потребителей. Чем эффективнее работает электроэнергетическая система в целом, тем ниже тарифы на электроэнергию, включая передачу, для потребителей. В настоящее время основным критерием отбора энергопроизводящих организаций для поставки электроэнергии является

цена за электроэнергию на шинах электростанции, поскольку стоимость передачи электроэнергии по национальной электрической сети для всех одинаковая вне зависимости от расстояния передачи. Единая цена на передачу по национальной электрической сети для всех потребителей является одним из положительных факторов доступности электрической сети в Казахстане.

Но вместе с тем для более эффективного функционирования электроэнергетической системы необходимо использовать критерий минимума издержек на выработку и передачу электроэнергии. Существующая модель рынка электрической энергии Казахстана не позволяет оптимизировать работу энергосистемы по данному критерию.

Возможным решением явилась бы покупка/продажа электроэнергии на оптовом рынке только через централизованную торговую площадку, что позволит обеспечить наиболее эффективную загрузку электростанций с учетом издержек на передачу электроэнергии по электрической сети.

Выделим основные выгоды для:

1) Потребителей обеспечивается единая цена на электроэнергию для всех потребителей, облегчается доступ на оптовый рынок.

2) Энергопередающих организаций снижаются потери электроэнергии в сети, более эффективно используется пропускная способность сети.

3) Энергопроизводящих организаций генераторы используются в наиболее экономичном режиме, снижаются издержки на эксплуатацию, появляется возможность загрузить станции со сравнительно дорогой электроэнергией, но расположенные в центре нагрузок.

4) Республики наиболее эффективно используются генерирующие мощности Казахстана, повышается эффективность и конкурентоспособность экономики страны, увеличивается кредитный рейтинг страны, создаются предпосылки для повышения позиции страны в совокупном мировом рейтинге благоприятности ведения бизнеса по разделу «Подключение к системе электроснабжения»

4 Внедрение стимулов развития регулирующих электрических мощностей.

Одной из основных особенностей производства и потребления электроэнергии является невозможность обеспечить «складские запасы» электроэнергии и в энергосистеме должен быть всегда баланс потребляемой и генерируемой электроэнергии. Для обеспечения указанного баланса в энергосистеме должны быть всегда в работе маневренные мощности, которые могут быстро увеличивать или снижать свою генерацию в зависимости от текущей нагрузки потребителей.

В настоящее время вышеуказанное регулирование осуществляется в основном с помощью энергосистем соседних государств. Тем самым загружаются межгосударственные, межсистемные и межрегиональные линии

электропередачи. Недостатком такой ситуации является повышенная дальность передачи балансирующей электроэнергии и отсутствие стимулов развития маневренных мощностей казахстанских энергопроизводящих организаций.

Очевидно, что при расположении маневренных генерирующих мощностей в центре нагрузок можно существенно снизить потери электроэнергии в сети.

Возможным решением был бы ввод в Республике Казахстан рынка электрической мощности балансирующего рынка электроэнергии в режиме реального времени.

Выделим основные выгоды для:

1) Потребителей снижается цена на электроэнергию по причине исключения из тарифа на передачу повышенных потерь электроэнергии, возникающих при передаче балансирующей электроэнергии от энергосистем соседних стран.

2) Энергопередающих организаций снижаются потери в межгосударственных линиях передачи за счет уменьшения объемов передачи балансирующей электроэнергии, более эффективно используется пропускная способность сети.

3) Энергопроизводящих организаций появляется возможность увеличить свои доходы за счет продажи электроэнергии на балансирующем рынке (в настоящее время балансирующая электроэнергия к нам поступает, в основном, из соседних стран). Наиболее дорогие энергоисточники, электроэнергия которых в существующей модели рынка не востребована, могут продавать генерируемую электроэнергию на балансирующем рынке.

4) Республики снижение потерь в электрических сетях, дополнительный стимул для развития электростанций, поддержка существующих электростанций с дорогой электроэнергией, увеличение ВВП страны за счет увеличения генерации электроэнергии в Казахстане.

5 Использование преимуществ параллельной работы с энергосистемами соседних государств в целях снижения потерь электроэнергии в электрической сети без ущерба для казахстанских энергопроизводящих организаций.

Анализ состава электростанций и конфигурации электрических сетей объединенной энергосистемы Казахстана и соседних государств показывает, что возможна оптимизация перетоков по линиям, при этом потери электроэнергии в национальной электрической сети Казахстана существенно уменьшаются по сравнению с другими режимами. Но такие режимы работы объединенной энергосистемы в условиях действующего рынка электроэнергии Казахстана практически маловероятны, поскольку это может негативно сказаться на энергопроизводящих организациях Казахстана.

Одним из возможных решений явилось бы изменение модели рынка электроэнергии в Республике Казахстан для того, чтобы системный оператор

мог самостоятельно оптимизировать перетоки в национальной электрической сети и по межгосударственным линиям электропередачи с учетом интересов казахстанских энергопроизводящих компаний.

Новая модель рынка должна позволять казахстанским электростанциям свободно продавать электроэнергию в соседние страны, иностранным электростанциям продавать электроэнергию в Казахстане (без ущемления интересов казахстанских энергопроизводящих организаций), осуществлять межгосударственный транзит по электрическим сетям Казахстана по выгодным для Казахстана направлениям.

Отмечаем, что указанные межгосударственные поставки электроэнергии должны осуществляться только в нормальных режимах. В аварийных и послеаварийных режимах приоритет должен отдаваться первоочередному электроснабжению казахстанских потребителей.

Выделим основные выгоды для:

1) Потребителей снижается цена на электроэнергию и повышается надежность электроснабжения из-за диверсификации поставок электроэнергии и снижения потерь в сети.

2) Энергопередающие организаций снижаются потери в электроэнергии в сети.

3) Энергопроизводящих организаций появляется возможность увеличить свои доходы за счет продажи электроэнергии в соседние страны.

4) Республики снижение стоимости электроэнергии для потребителей.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе показаны возможные способы реализации организационных мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях Республики Казахстан путем совершенствования электроэнергетического рынка. Рассмотренные мероприятия на уровне отдельного предприятия осуществить не представляется возможным [5]. Отмечаем, что имеется множество примеров успешной реализации предлагаемых мероприятий на электроэнергетических рынках других стран.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем, утвержденная приказом Председателя Комитета по государственному энергетическому надзору Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан от 24 ноября 2010 года №132-П.

2 Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. Москва, ЭНАС, 2009. – 456 с.

3 Нормативные значения коэффициента мощности в электрических сетях индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, утвержденные приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 393.

4 Кодекс Республики Казахстан «Об административных правонарушениях» от 5 июля 2014 года № 235-V ЗРК.

5 Туkenov, A. A. Рынок электроэнергии: от монополии к конкуренции. – Москва, Энергоатомиздат, 2009. – 416 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

М. А. Ауельбек¹, С. С. Исенов², Н. Н. Нуржан³

Қазақстанның электр энергетикалық нарығын жетілдіру арқылы электр энергиясының шығындарын азайту жөніндегі шараларды әзірлеу

^{1,2,3}Энергетикалық факультеті,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

M. A. Auelbek¹, S. S. Issenov², N. N. Nurzhan³

Development of measures to reduce energy losses by improving the electricity market of Kazakhstan

^{1,2,3}Energy Faculty,

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Ғылыми мақалада еліміздің электр энергетикалық нарығын жетілдіру және электр желілері мен электр станцияларының жұмыс режимдерін оңтайландыру бойынша ұйымдастыру іс-шараларын жүргізу мүмкіндігі қарастырылған, бұл электр энергиясының шығынын төмендетуге ықпал етеді.

The scientific article considers the possibility of organizational measures to improve the electricity market of the country and optimize the modes of operation of electric networks and power plants, which helps to reduce energy losses.

**Е. М. Волгина¹, А. Н. Новожилов²,
Е. Н. Колесников³, Т. А. Новожилов⁴**

¹докторант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²д.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

³докторант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., доцент, Энергетический институт, Омский государственный технический университет, г. Омск, 644050, Российская Федерация

e-mail: ¹volgina.em@mail.ru; ²novozhilova_on@mail.ru;

³jeka89_pvl@mail.ru; ⁴timokvey@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ТРЕХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы в процессе транспортировки электрической энергии занимают особое место. Для защиты от коротких замыканий в них используют токовые защиты, отстройка которых невозможна без учета эксплуатационных и аномальных режимов работы. Для моделирования токов в обмотках трансформатора в этих режимах предлагается новая математическая модель, которая позволяет наиболее полно описать процесс преобразования энергии в нем. Адекватность предложенной математической модели подтверждена сопоставлением результатов моделирования и экспериментов, в соответствии с которым погрешность моделирования не превышает значений приемлемых для релейной защиты.

Ключевые слова: трехфазный трехобмоточный трансформатор, режимы работы, математическая модель, моделирование токов, эксперимент.

ВВЕДЕНИЕ

Силовой трансформатор является статическим электромагнитным устройством, с помощью которого в электроэнергетике осуществляется

преобразование одной системы переменного тока в другую [1, 2]. Поэтому он является одним из важнейших элементов электроэнергетической системы, так как при транспортировке электрической энергии в ней в силу производственной необходимости требуется ее неоднократная трансформация. Особое место в этом процессе занимает трехфазный трехобмоточный трансформатор [1, 2].

Традиционно для защиты трансформаторов от коротких замыканий используют токовые защиты, отстройка которых невозможна без учета их эксплуатационных и аномальных режимов работы. Как известно [1,2] к эксплуатационным режимам работы относят режим включения трансформатора в сеть и номинальной нагрузки, а к аномальным режимам работы – режим перегрузки, короткое замыкание за трансформатором и перенапряжение.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Практически всегда трансформатор работает в установившемся режиме. При этом переход из одного установившегося режима работы в другой сопровождается переходным процессом [3, 4]. Наиболее полно во всех этих режимах работы процесс преобразования энергии в трехфазном трансформаторе описывает математическая модель, дифференциальные уравнения которой с учетом схемы на рисунке 1 и [5] составляются для фазных напряжений будут иметь следующий вид

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + d\psi_A/dt; & 0 &= (R_{a1} + R_{на1} + jL_{на1})i_{a1} + d\psi_{a1}/dt; \\ u_B &= R_B i_B + d\psi_B/dt; & 0 &= (R_{b1} + R_{нб1} + jL_{нб1})i_{b1} + d\psi_{b1}/dt; \\ u_C &= R_C i_C + d\psi_C/dt; & 0 &= (R_{c1} + R_{нс1} + jL_{нс1})i_{c1} + d\psi_{c1}/dt; \\ & & 0 &= (R_{a2} + R_{на2} + jL_{на2})i_{a2} + d\psi_{a2}/dt; \\ & & 0 &= (R_{b2} + R_{нб2} + jL_{нб2})i_{b2} + d\psi_{b2}/dt \\ & & 0 &= (R_{c2} + R_{нс2} + jL_{нс2})i_{c2} + d\psi_{c2}/dt. \end{aligned} \right\} (1)$$

где u_i, i_i – мгновенные фазные напряжения и токи в обмотках; R_i и ψ_i – активные сопротивления и потокосцепления обмоток; $Z_{ни} = R_{ни} + jL_{ни}$; $R_{ни}$ и $L_{ни}$ – активные сопротивления и индуктивность нагрузки фаз. При этом для первичной обмотки $i=A, B$ и C ; а для первой и второй вторичных обмоток $i = a_1, b_1, c_1$ и $i = a_2, b_2, c_2$ соответственно.

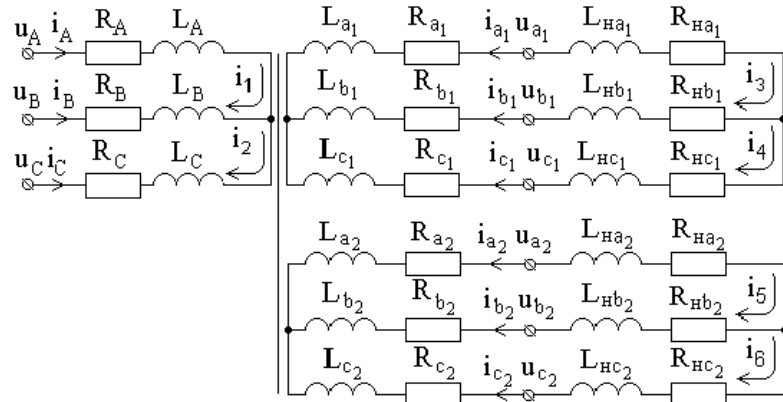


Рисунок 1 – Схема трехфазного трехобмоточного трансформатора в режиме нагрузки

В этой системе уравнений потокосцепления фаз первичной обмотки определяются как

$$\begin{aligned} \Psi_A &= i_A L_A + i_B L_{AB} + i_C L_{AC} + i_{a1} L_{Aa1} + \\ &+ i_{b1} L_{Ab1} + i_{c1} L_{Ac1} + i_{a2} L_{Aa2} + i_{b2} L_{Ab2} + i_{c2} L_{Ac2}; \\ \Psi_B &= i_A L_{BA} + i_B L_B + i_C L_{BC} + i_{a1} L_{Ba1} + \\ &+ i_{b1} L_{Bb1} + i_{c1} L_{Bc1} + i_{a2} L_{Ba2} + i_{b2} L_{Bb2} + i_{c2} L_{Bc2}; \\ \Psi_C &= i_A L_{CA} + i_B L_{CB} + i_C L_C + i_{a1} L_{Ca1} + \\ &+ i_{b1} L_{Cb1} + i_{c1} L_{Cc1} + i_{a2} L_{Ca2} + i_{b2} L_{Cb2} + i_{c2} L_{Cc2}, \end{aligned} \quad (2)$$

а потокосцепления фаз первой и второй вторичных обмоток

$$\begin{aligned} \Psi_{a1} &= i_A L_{a1A} + i_B L_{a1B} + i_C L_{a1C} + i_{a1} (L_{a1} + L_{Ha1}) + \\ &+ i_{b1} L_{a1b1} + i_{c1} L_{a1c1} + i_{a2} L_{a1a2} + i_{b2} L_{a1b2} + i_{c2} L_{a1c2}; \\ \Psi_{b1} &= i_A L_{b1A} + i_B L_{b1B} + i_C L_{b1C} + i_{a1} L_{b1a1} + \\ &+ i_{b1} (L_{b1} + L_{Hb1}) + i_{c1} L_{b1c1} + i_{a2} L_{b1a2} + i_{b2} L_{b1b2} + i_{c2} L_{b1c2}; \\ \Psi_{c1} &= i_A L_{c1A} + i_B L_{c1B} + i_C L_{c1C} + i_{a1} L_{c1a1} + \\ &+ i_{b1} L_{c1b1} + i_{c1} (L_{c1} + L_{Hc1}) + i_{a2} L_{c1a2} + i_{b2} L_{c1b2} + i_{c2} L_{c1c2}. \end{aligned} \quad (3)$$

и

$$\begin{aligned} \Psi_{a2} &= i_A L_{a2A} + i_B L_{a2B} + i_C L_{a2C} + i_{a1} L_{a2a1} + \\ &+ i_{b1} L_{a2b1} + i_{c1} L_{a2c1} + i_{a2} (L_{a2} + L_{Ha2}) + i_{b2} L_{a2b2} + i_{c2} L_{a2c2}; \\ \Psi_{b2} &= i_A L_{b2A} + i_B L_{b2B} + i_C L_{b2C} + i_{a1} L_{b2a1} + \\ &+ i_{b1} L_{b2b1} + i_{c1} L_{b2c1} + i_{a2} L_{b2a2} + i_{b2} (L_{b2} + L_{Hb2}) + i_{c2} L_{b2c2}; \\ \Psi_{c2} &= i_A L_{c2A} + i_B L_{c2B} + i_C L_{c2C} + i_{a1} L_{c2a1} + \\ &+ i_{b1} L_{c2b1} + i_{c1} L_{c2c1} + i_{a2} L_{c2a2} + i_{b2} L_{c2b2} + i_{c2} (L_{c2} + L_{Hc2}). \end{aligned} \quad (4)$$

Согласно [6] расчет индуктивных сопротивлений обмоток трехфазного трансформатора довольно сложен. Но его можно упростить, если считать, что трансформатор работает в ненасыщенном режиме, а собственное индуктивное сопротивление его фазы X_1 превышает активное сопротивление R_1 . В этом случае при известном напряжении фазы U_1 и токе холостого хода I_{XX} трансформатора индуктивное сопротивления фазы первичной обмотки, а также ее индуктивность L_1 можно достаточно точно определить, используя математические выражениям

$$Z_m = \dot{U}_1 / \dot{I}_{XX}, \quad X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_1^2}, \quad X_1 = X_m / 1.5, \quad \text{а } L_1 = X_1 / (2 \cdot \pi \cdot f_c), \quad (5)$$

где Z_m – полное сопротивление фазы трансформатора; U_1 – напряжение каждой фазы; f_c – частота тока в сети.

В соответствии с [3] собственные индуктивности и взаимные индуктивности обмоток трансформатора пропорциональны квадрату их витков. В результате

$$\begin{aligned} L_2 &= (w_2/w_1)^2 L_1 \quad \text{и} \quad L_3 = (w_3/w_1)^2 L_1, \quad L_{12} = (w_1 w_2/w_1)^2 L_1, \\ L_{13} &= (w_1 w_3/w_1)^2 L_1 \quad \text{и} \quad L_{23} = (w_2 w_3/w_1)^2 L_1, \end{aligned} \quad (6)$$

где w_1, w_2 и w_3 – число витков в первичной, первой вторичной и второй вторичной обмотках; L_2 и L_3 – индуктивность фазы первой и второй вторичных обмоток; L_{12}, L_{13} и L_{23} – взаимные индуктивности фаз первичной, а также первой и второй вторичных обмоток.

Собственные индуктивности фаз первичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_A = L_B = L_C = L_1. \quad (7)$$

Взаимные индуктивности фаз первичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{AB} = L_{AC} = L_{BC} = L_{BA} = L_{CA} = L_{CB} = -0.5L_1. \quad (8)$$

Взаимные индуктивности фаз первичной обмотки и первой секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{Aa_1} = L_{a_1A} = L_{Bb_1} = L_{b_1B} = L_{Cc_1} = L_{c_1C} = L_{12} \quad (9)$$

и

$$\begin{aligned} L_{Ab_1} &= L_{Ac_1} = L_{b_1A} = L_{c_1A} = L_{Ba_1} = L_{Bc_1} = \\ &= L_{a_1B} = L_{c_1B} = L_{Ca_1} = L_{Cb_1} = L_{a_1C} = L_{b_1C} = -0,5L_{12}. \end{aligned} \quad (10)$$

Взаимные индуктивности фаз первичной обмотки и второй секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{Aa_2} = L_{a_2A} = L_{Bb_2} = L_{b_2B} = L_{Cc_2} = L_{c_2C} = L_{13} \quad (11)$$

и

$$\begin{aligned} L_{Ab_2} &= L_{Ac_2} = L_{b_2A} = L_{c_2A} = L_{Ba_2} = L_{Bc_2} = \\ &= L_{a_2B} = L_{c_2B} = L_{Ca_2} = L_{Cb_2} = L_{a_2C} = L_{b_2C} = -0,5L_{13}. \end{aligned} \quad (12)$$

Собственные индуктивности фаз первой секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{a_1} = L_{b_1} = L_{c_1} = L_2. \quad (13)$$

Собственные индуктивности фаз второй секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{a_2} = L_{b_2} = L_{c_2} = L_3. \quad (14)$$

Взаимные индуктивности фаз первой секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{a_1b_1} = L_{b_1a_1} = L_{a_1c_1} = L_{c_1a_1} = L_{b_1c_1} = L_{c_1b_1} = -0,5L_{23}. \quad (15)$$

Взаимные индуктивности фаз второй секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{a_2b_2} = L_{b_2a_2} = L_{a_2c_2} = L_{c_2a_2} = L_{b_2c_2} = L_{c_2b_2} = -0,5L_{23}. \quad (16)$$

Взаимные индуктивности фаз первой и второй секции вторичной обмотки трехфазного трансформатора:

$$L_{a_1a_2} = L_{a_2a_1} = L_{b_1b_2} = L_{b_2b_1} = L_{c_1c_2} = L_{c_2c_1} = L_{23} \text{ и} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} L_{a_2b_1} &= L_{b_1a_2} = L_{a_1b_2} = L_{b_2a_1} = L_{a_2c_1} = L_{c_1a_2} = L_{a_1c_2} = \\ &= L_{c_2a_1} = L_{b_2c_1} = L_{c_1b_2} = L_{b_1c_2} = L_{c_2b_1} = -0,5L_{23}. \end{aligned} \quad (18)$$

Активные сопротивления фаз этих обмоток

$$R_A = R_B = R_C = R_1, R_{a_1} = R_{b_1} = R_{c_1} = R_2, R_{a_2} = R_{b_2} = R_{c_2} = R_3,$$

где R_1, R_2 и R_3 – активные сопротивления фаз первичной, а также первой и второй вторичных обмоток первичной, которые получают непосредственно их замером с помощью моста постоянного тока или расчетным путем по общеизвестным формулам. Первый путь более прост и точен.

Однако эта математическая модель имеет недостатки. Во-первых, она не позволяет моделировать работу трансформатора при несимметричном напряжении питания и несимметричной нагрузки. Во-вторых, ее система имеет значительное количество неизвестных – девять уравнений. Что создает значительные трудности при их определении. Этого можно избежать, если систему (1) представить в виде

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= u_A - u_B = i_A R_A - i_B R_B + d\psi_A/dt - d\psi_B/dt; \\ u_{BC} &= u_B - u_C = i_B R_B - i_C R_C + d\psi_B/dt - d\psi_C/dt; \\ 0 &= i_{a_1} (R_{a_1} + R_{на1}) - i_{b_1} (R_{b_1} + R_{наb1}) + d\psi_{a_1}/dt - d\psi_{b_1}/dt; \\ 0 &= i_{b_1} (R_{b_1} + R_{наb1}) - i_{c_1} (R_{c_1} + R_{наc1}) + d\psi_{b_1}/dt - d\psi_{c_1}/dt; \\ 0 &= i_{a_2} (R_{a_2} + R_{наa2}) - i_{b_2} (R_{b_2} + R_{наb2}) + d\psi_{a_2}/dt - d\psi_{b_2}/dt; \\ 0 &= i_{b_2} (R_{b_2} + R_{наb2}) - i_{c_2} (R_{c_2} + R_{наc2}) + d\psi_{b_2}/dt - d\psi_{c_2}/dt. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

В этой системе уравнений потокосцепления

$$\begin{aligned} \Psi_A - \Psi_B &= i_A (L_A - L_{AB}) + i_B (L_{AB} - L_B) + i_C (L_{AC} - L_{BC}) + \\ &+ i_{a_1} (L_{Aa_1} - L_{Ba_1}) + i_{b_1} (L_{Ab_1} - L_{Bb_1}) + i_{c_1} (L_{Ac_1} - L_{Bc_1}) + \\ &+ i_{a_2} (L_{Aa_2} - L_{Ba_2}) + i_{b_2} (L_{Ab_2} - L_{Bb_2}) + i_{c_2} (L_{Ac_2} - L_{Bc_2}), \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \Psi_B - \Psi_C &= i_A (L_{AB} - L_{AC}) + i_B (L_B - L_{BC}) + i_C (L_{BC} - L_C) + \\ &+ i_{a_1} (L_{Ba_1} - L_{Ca_1}) + i_{b_1} (L_{Bb_1} - L_{Cb_1}) + i_{c_1} (L_{Bc_1} - L_{Cc_1}) + \\ &+ i_{a_2} (L_{Ba_2} - L_{Ca_2}) + i_{b_2} (L_{Bb_2} - L_{Cb_2}) + i_{c_2} (L_{Bc_2} - L_{Cc_2}), \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{a_1} - \Psi_{b_1} = & i_A(L_{a_1A} - L_{b_1A}) + i_B(L_{a_1B} - L_{b_1B}) + i_C(L_{a_1C} - L_{b_1C}) + \\ & + i_{a_1}(L_{a_1} + L_{на_1} - L_{b_1a_1}) + i_{b_1}(L_{a_1b_1} - L_{b_1} - L_{нб_1}) + i_{c_1}(L_{a_1c_1} - L_{b_1c_1}) + \end{aligned} \quad (22)$$

$$+ i_{a_2}(L_{a_1a_2} - L_{b_1a_2}) + i_{b_2}(L_{a_1b_2} - L_{b_2}) + i_{c_2}(L_{a_1c_2} - L_{b_1c_2}),$$

$$\begin{aligned} \Psi_{b_1} - \Psi_{c_1} = & i_A(L_{b_1A} - L_{c_1A}) + i_B(L_{b_1B} - L_{c_1B}) + i_C(L_{b_1C} - L_{c_1C}) + \\ & + i_{a_1}(L_{b_1a_1} - L_{c_1a_1}) + i_{b_1}(L_{b_1} + L_{нб_1} - L_{c_1b_1}) + i_{c_1}(L_{b_1c_1} - L_{c_1} - L_{нс_1}) + \end{aligned} \quad (23)$$

$$+ i_{a_2}(L_{b_1a_2} - L_{c_1a_2}) + i_{b_2}(L_{b_2} - L_{c_1b_2}) + i_{c_2}(L_{b_1c_2} - L_{c_1c_2}),$$

$$\begin{aligned} \Psi_{a_2} - \Psi_{b_2} = & i_A(L_{a_2A} - L_{b_2A}) + i_B(L_{a_2B} - L_{b_2B}) + i_C(L_{a_2C} - L_{b_2C}) + \\ & + i_{a_1}(L_{a_2a_1} - L_{b_2a_1}) + i_{b_1}(L_{a_2b_1} - L_{b_2b_1}) + i_{c_1}(L_{a_2c_1} - L_{b_2c_1}) + \end{aligned} \quad (24)$$

$$+ i_{a_2}(L_{a_2} + L_{на_2} - L_{b_2a_2}) + i_{b_2}(L_{a_2b_2} - L_{b_2} - L_{нб_2}) + i_{c_2}(L_{a_2c_2} - L_{b_2c_2}),$$

$$\begin{aligned} \Psi_{b_2} - \Psi_{c_2} = & i_A(L_{b_2A} - L_{c_2A}) + i_B(L_{b_2B} - L_{c_2B}) + i_C(L_{b_2C} - L_{c_2C}) + \\ & + i_{a_1}(L_{b_2a_1} - L_{c_2a_1}) + i_{b_1}(L_{b_2b_1} - L_{c_2b_1}) + i_{c_1}(L_{b_2c_1} - L_{c_2c_1}) \end{aligned} \quad (25)$$

$$+ i_{a_2}(L_{b_2a_2} - L_{c_2a_2}) + i_{b_2}(L_{b_2} + L_{нб_2} - L_{c_2b_2}) + i_{c_2}(L_{b_2c_2} - L_{c_2} - L_{нс_2}).$$

Система (19) не имеет решения, так как в ней шесть уравнений и девять неизвестных. Этого можно избежать, если фазные токи в обмотках трансформатора заменить контурными токами. Тогда в соответствии с рисунком 1

$$\begin{aligned} i_A = i_1, \quad i_B = i_2 - i_1, \quad i_C = -i_2, \quad i_{a_1} = i_3, \quad i_{b_1} = i_4 - i_3, \quad i_{c_1} = -i_4, \\ i_{a_2} = i_5, \quad i_{b_2} = i_6 - i_5, \quad i_{c_2} = -i_6. \end{aligned} \quad (26)$$

После подстановки уравнений (20)-(26) в систему уравнений (19) и преобразования, получается система уравнений

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} = i_1(R_A + R_B) - i_2R_B + d\psi_1/dt; \\ u_{BC} = (i_2 - i_1)R_B + i_2R_C + d\psi_2/dt; \\ 0 = i_3(R_{a_1} + R_{b_1} + R_{на_1} + R_{нб_1}) - i_4(R_{b_1} + R_{нб_1}) + d\psi_3/dt; \\ 0 = (i_4 - i_3)(R_{b_1} + R_{нб_1}) + i_4(R_{c_1} + R_{нс_1}) + d\psi_4/dt; \\ 0 = i_5(R_{a_2} + R_{b_2} + R_{на_2} + R_{нб_2}) - i_6(R_{b_2} + R_{нб_2}) + d\psi_5/dt; \\ 0 = (i_6 - i_5)(R_{b_2} + R_{нб_2}) + i_5(R_{c_2} + R_{нс_2}) + d\psi_6/dt. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

уравнения которой составлены по методу контурных токов для междуфазных напряжений. В этой системе уравнений потокоцепления контуров

$$\begin{aligned} \Psi_1 = & i_1L_{11} + i_2L_{12} + i_3L_{13} + i_4L_{14} + i_5L_{15} + i_6L_{16}, \\ \Psi_2 = & i_1L_{21} + i_2L_{22} + i_3L_{23} + i_4L_{24} + i_5L_{25} + i_6L_{26}, \\ \Psi_3 = & i_1L_{31} + i_2L_{32} + i_3L_{33} + i_4L_{34} + i_5L_{35} + i_6L_{36}, \\ \Psi_4 = & i_1L_{41} + i_2L_{42} + i_3L_{43} + i_4L_{44} + i_5L_{45} + i_6L_{46}, \\ \Psi_5 = & i_1L_{51} + i_2L_{52} + i_3L_{53} + i_4L_{54} + i_5L_{55} + i_6L_{56}, \\ \Psi_6 = & i_1L_{61} + i_2L_{62} + i_3L_{63} + i_4L_{64} + i_5L_{65} + i_6L_{66}. \end{aligned} \quad (28)$$

При этом собственные индуктивности контуров

$$\begin{aligned} L_{11} = & L_A \quad 2L_{AB} + L_B, \\ L_{22} = & L_B \quad 2L_{BC} + L_C, \\ L_{33} = & L_{a_1} + L_{на_1} \quad 2L_{a_1b_1} + L_{b_1} + L_{нб_1}, \\ L_{44} = & L_{b_1} + L_{нб_1} \quad 2L_{b_1c_1} + L_{c_1} + L_{нс_1}, \\ L_{55} = & L_{a_2} + L_{на_2} \quad 2L_{a_2b_2} + L_{b_2} + L_{нб_2}, \\ L_{66} = & L_{b_2} + L_{нб_2} \quad 2L_{b_2c_2} + L_{c_2} + L_{нс_2}. \end{aligned} \quad (29)$$

а взаимные индуктивности этих контуров

$$\begin{aligned} L_{12} = & L_{21} = L_{AB} - L_{AC} - L_B + L_{Bc_1}, \\ L_{23} = & L_{32} = L_{Ba_1} - L_{Bb_1} - L_{Ca_1} + L_{Cb_1}, \\ L_{13} = & L_{31} = L_{Aa_1} - L_{Ab_1} - L_{Ba_1} + L_{Bb_1}, \\ L_{24} = & L_{42} = L_{Bb_1} - L_{Bc_1} - L_{Cb_1} + L_{Cc_1}, \\ L_{14} = & L_{41} = L_{Ab_1} - L_{Ac_1} - L_{Bb_1} + L_{Bc_1}, \\ L_{34} = & L_{43} = L_{a_1b_1} - L_{a_1c_1} - L_{b_1} + L_{b_1c_1}, \\ L_{15} = & L_{51} = L_{Aa_2} - L_{Ab_2} - L_{Ba_2} + L_{Bb_2}, \\ L_{25} = & L_{52} = L_{Ba_2} - L_{Bb_2} - L_{Ca_2} + L_{Cb_2}, \\ L_{16} = & L_{61} = L_{Ab_2} - L_{Ac_2} - L_{Bb_2} + L_{Bc_2}, \\ L_{35} = & L_{53} = L_{a_1a_2} - L_{a_1b_2} - L_{b_1a_2} + L_{b_1b_2}, \\ L_{45} = & L_{54} = L_{b_1a_2} - L_{b_1b_2} - L_{c_1a_2} + L_{c_1b_2}, \\ L_{26} = & L_{62} = L_{Bb_2} - L_{Bc_2} - L_{Cb_2} + L_{Cc_2}, \\ L_{36} = & L_{63} = L_{a_1b_2} - L_{a_1c_2} - L_{b_1b_2} + L_{b_1c_2}, \\ L_{46} = & L_{64} = L_{b_1b_2} - L_{b_1c_2} - L_{c_1b_2} + L_{c_1c_2}, \\ L_{56} = & L_{65} = L_{a_2b_2} - L_{a_2c_2} - L_{b_2} + L_{b_2c_2}. \end{aligned} \quad (30)$$

В соответствии с [3,7] в произвольном режиме работы трансформатора токи в обмотках определяется как сумма токов i_{in} периодической и i_{ai} аperiодической составляющих в i -том контуре

$$i_i = i_{in} + i_{ai} \quad (31)$$

Так периодическая составляющая тока в i -ом контуре и временном интервале q ищется в виде частного решения системы неоднородных уравнений, получаемой из (27), в которой напряжения считаются синусоидальными. В этом случае оператор дифференцирования d/dt можно заменить на $j\omega$, а индуктивности рассчитываются как $X_{vw} = \omega L_{vw}$, где v и w принимают значения от одного до шести; ω – угловая частота тока в сети. В результате

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{I}_1(R_A + R_B) - \dot{I}_2 R_B + \Psi_1; \\ \dot{U}_{BC} &= (\dot{I}_2 - \dot{I}_1)R_B + \dot{I}_2 R_C + \Psi_2; \\ 0 &= \dot{I}_3(R_{a1} + R_{b1} + R_{на1} + R_{нб1}) - \dot{I}_4(R_{b1} + R_{нб1}) + \Psi_3; \\ 0 &= (\dot{I}_4 - \dot{I}_3)(R_{b1} + R_{нб1}) + \dot{I}_4(R_{c1} + R_{нc1}) + \Psi_4; \\ 0 &= \dot{I}_5(R_{a2} + R_{b2} + R_{на2} + R_{нб2}) - \dot{I}_6(R_{b2} + R_{нб2}) + \Psi_5; \\ 0 &= (\dot{I}_6 - \dot{I}_5)(R_{b2} + R_{нб2}) + \dot{I}_5(R_{c2} + R_{нc2}) + \Psi_6 \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1 &= jX_{11}\dot{I}_1 + jX_{12}\dot{I}_2 + jX_{13}\dot{I}_3 + jX_{14}\dot{I}_4 + jX_{15}\dot{I}_5 + jX_{16}\dot{I}_6; \\ \Psi_2 &= jX_{21}\dot{I}_1 + jX_{22}\dot{I}_2 + jX_{23}\dot{I}_3 + jX_{24}\dot{I}_4 + jX_{25}\dot{I}_5 + jX_{26}\dot{I}_6; \\ \Psi_3 &= jX_{31}\dot{I}_1 + jX_{32}\dot{I}_2 + jX_{33}\dot{I}_3 + jX_{34}\dot{I}_4 + jX_{35}\dot{I}_5 + jX_{36}\dot{I}_6; \\ \Psi_4 &= jX_{41}\dot{I}_1 + jX_{42}\dot{I}_2 + jX_{43}\dot{I}_3 + jX_{44}\dot{I}_4 + jX_{45}\dot{I}_5 + jX_{46}\dot{I}_6; \\ \Psi_5 &= jX_{51}\dot{I}_1 + jX_{52}\dot{I}_2 + jX_{53}\dot{I}_3 + jX_{54}\dot{I}_4 + jX_{55}\dot{I}_5 + jX_{56}\dot{I}_6; \\ \Psi_6 &= jX_{61}\dot{I}_1 + jX_{62}\dot{I}_2 + jX_{63}\dot{I}_3 + jX_{64}\dot{I}_4 + jX_{65}\dot{I}_5 + jX_{66}\dot{I}_6. \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

Аperiодические составляющие токов контуров i_{ai} ищут в виде полного решения системы однородных дифференциальных уравнений. Однако получение аналитического выражения токов в обмотках трансформатора представляет собой сложный и трудоемкий процесс, поэтому проще воспользоваться численным решением. Для этого время исследуемого процесса разбивается на q временных интервалов длительностью Δt . Считается, что внутри каждого временного интервала токи в контурах

неизменны. При переходе из временного интервала q во временной интервал $q+1$ эти величины рассчитываются следующим образом.

Для получения системы однородных уравнений из (27) в ней напряжения u_{AB} и u_{BC} принимаются равными нулю. При численном решении однородной системы уравнений ее преобразуют. В левую часть уравнений переносятся составляющие падений напряжений на активных сопротивлениях, а dt и di заменяются на Δt и Δi соответственно. В результате изменение токов Δi в контурах обмоток трансформатора за интервал времени Δt определится из системы

$$\left. \begin{aligned} [\dot{i}_2 R_B - \dot{i}_1(R_A + R_B)]\Delta t &= \Delta \Psi_1; \\ [(\dot{i}_1 - \dot{i}_2)R_B - \dot{i}_2 R_C]\Delta t &= \Delta \Psi_2; \\ [\dot{i}_4(R_{b1} + R_{нб1}) - \dot{i}_3(R_{a1} + R_{b1} + R_{на1} + R_{нб1})]\Delta t &= \Delta \Psi_3; \\ [(\dot{i}_3 - \dot{i}_4)(R_{b1} + R_{нб1}) - \dot{i}_4(R_{c1} + R_{нc1})]\Delta t &= \Delta \Psi_4; \\ [\dot{i}_6(R_{b2} + R_{нб2}) - \dot{i}_5(R_{a2} + R_{b2} + R_{на2} + R_{нб2})]\Delta t &= \Delta \Psi_5; \\ [(\dot{i}_5 - \dot{i}_6)(R_{b2} + R_{нб2}) - \dot{i}_5(R_{c2} + R_{нc2})]\Delta t &= \Delta \Psi_6 \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Delta \Psi_1 &= \Delta i_1 L_{11} + \Delta i_2 L_{12} + \Delta i_3 L_{13} + \Delta i_4 L_{14} + \Delta i_5 L_{15} + \Delta i_6 L_{16}; \\ \Delta \Psi_2 &= \Delta i_1 L_{21} + \Delta i_2 L_{22} + \Delta i_3 L_{23} + \Delta i_4 L_{24} + \Delta i_5 L_{25} + \Delta i_6 L_{26}; \\ \Delta \Psi_3 &= \Delta i_1 L_{31} + \Delta i_2 L_{32} + \Delta i_3 L_{33} + \Delta i_4 L_{34} + \Delta i_5 L_{35} + \Delta i_6 L_{36}; \\ \Delta \Psi_4 &= \Delta i_1 L_{41} + \Delta i_2 L_{42} + \Delta i_3 L_{43} + \Delta i_4 L_{44} + \Delta i_5 L_{45} + \Delta i_6 L_{46}; \\ \Delta \Psi_5 &= \Delta i_1 L_{51} + \Delta i_2 L_{52} + \Delta i_3 L_{53} + \Delta i_4 L_{54} + \Delta i_5 L_{55} + \Delta i_6 L_{56}; \\ \Delta \Psi_6 &= \Delta i_1 L_{61} + \Delta i_2 L_{62} + \Delta i_3 L_{63} + \Delta i_4 L_{64} + \Delta i_5 L_{65} + \Delta i_6 L_{66}. \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

В соответствии с [3] на момент начала переходного процесса аperiодическая составляющая тока в обмотках трансформатора принимается равной токам в этих обмотках на конец установившегося режима, но с обратным знаком. Ее величина в i -ом контуре в интервале $q+1$ определяется как

$$i_{ai}(q+1) = i_{ai}(q) + \Delta i_{ai}(q) \quad (36)$$

Проверка адекватности этой математической модели осуществлялась в режиме нагрузки трансформатора типа ТТ-6, параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры экспериментального трансформатора ТТ-6

Параметры трансформатора ТТ-6	Обозначение	Величина
Напряжение питания, В	U_1	225
Ток холостого хода трансформатора, А	I_{xx}	1,75
Номинальный ток в первичной, вторичных обмотках, А	$I_{Н1}; I_{Н2}; I_{Н3}$	9,13; 28,9; 4,08
Число витков в первичной и вторичных обмотках, вит.	$w_1; w_2; w_3$	146; 46; 33
Активное сопротивление первичной и вторичных обмоток, Ом	$R_A; R_{a1}; R_{a2}$	0,321; 0,048; 1,43
Активные сопротивления нагрузки первой вторичной обмотки, Ом	$R_{на1}$	6,1; 8,9; 11
Активное сопротивление нагрузки второй вторичной обмотки, Ом	$R_{Н2}$	23,6

На рисунке 2 приведены результаты моделирования и эксперимента процессов при переменной нагрузке в первой вторичной обмотки и постоянной нагрузке во второй вторичной обмотке.

При разработке программы для моделирования процессов в трехфазном трехобмоточном трансформаторе на ПЭВМ использовался пакет прикладных программ «MATLAB 6.1» [8]. Анализ результатов расчетов и экспериментов показывает, что погрешность моделирования нагрузочного режима не превышает 8–10 %, что вполне удовлетворяет требования релейной защиты.

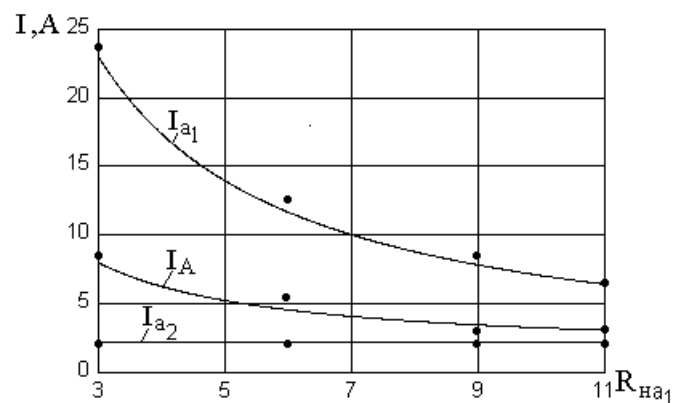


Рисунок 2 – Результаты моделирования и эксперимента токов в обмотках трансформатора ТТ-6 под нагрузкой

ВЫВОДЫ

Разработана новая математическая модель трехфазного трехобмоточного трансформатора, которая позволяет моделировать процессы в нем при несимметрии питающего напряжения и нагрузки.

Погрешность моделирования токов в обмотках трехфазного трехобмоточного трансформатора с использованием этой модели не превышает 8–10 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. – 4-е издание / Чернобровов Н.В. – М. : Энергия – 1974. – 680 с.
- 2 **Федосеев, А. М.** Релейная защита электрических систем, – М. : Энергия – 1992, – 559 с. УДК 621.316.925(075.8)
- 3 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники, – М. : Высшая школа. – 1967. – 775 с.
- 4 **Копылов, И. П.** Математическое моделирование электрических машин, – М. : Высшая школа. – 1994. – 218 с.
- 5 **Новожилов, А. Н., Андреева, О. А., Воликова, М. П., Гаспарян, А. Г., Новожилов, Т. А.** Метод формирования системы уравнений математической модели электрических машин и трансформаторов в эксплуатационных режимах // Омский научный вестник №9 (46), декабрь 2006, – С. 108–112.
- 6 **Новожилов, А. Н., Горюнов, В. Н., Новожилов, Т. А., Крылов, И. Ю., Никитин, К. И.** Моделирование токов при витковом замыкании в трансформаторах руднотермических печей// Электротехника. – 2013. – №4. – С. 27–32.
- 7 **Пискунов, Н. С.** Дифференциальное и интегральное исчисления, – М. : Наука. – 1976. – 576 с.
- 8 **Алексеев, Е. Р., Чеснокова, О. В.** (2006) MATLAB 7, – Москва : ИТ Press, 464 с. ISBN 5-477-00208-5

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Е. М. Волгина¹, А. Н. Новожилов², Е. Н. Колесников³, Т. А. Новожилов⁴
Үшфазалы үшорамды трансформаторды үлгілеу

^{1,2,3}Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
 Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

⁴Энергетикалық институт,
Омбы мемлекеттік техникалық университеті,
Омбы қ., 644011, Ресей Федерациясы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

E. M. Volgina¹, A. N. Novozhilov², E. N. Kolesnikov³, T. A. Novozhilov⁴

Simulation of a three-phase three-winding transformer

^{1,2,3}Faculty of Energy Engineering,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;
⁴Energy Institute,
Omsk State Technical University,
Omsk, 644011, Russian Federation.
Material received on 12.06.19.

Үшфазалы үшорамды трансформаторлар электр қуатын тасымалдау барысында ерекше орын алады. Қысқа тұйықталуды болдырмау үшін оларда тоқ қорғанысы қолданылады, оларды құру пайдалану және бейнормалды жұмыс режімдерін ескерусіз мүмкін емес. Осы режімдерде трансформатор орамдарындағы тоқты үлгілеу үшін жаңа математикалық үлгі ұсынылады, ол ондағы қуатты түрлену процессін едәуір толық сипаттауға мүмкіндік береді. Ұсынылған математикалық үлгінің баламалылығы үлгілеу нәтижелері мен тәжірибелерді салыстырумен расталған, оларға сәйкес үлгілеу ауытқуы реле қорғанысы үшін қолайлы мәннен артпайды.

Three-phase three-winding transformers in the process of transporting electrical energy occupy a special place. To protect against short circuits, they use current protection, which cannot be tuned without taking into account operational and abnormal modes of operation. To simulate the currents in the transformer windings in these modes, a new mathematical model is proposed, which makes it possible to most fully describe the process of energy conversion in it. The adequacy of the proposed mathematical model is confirmed by comparing the results of modeling and experiments, according to which the modeling error does not exceed the values acceptable for relay protection.

ГРНТИ 44.29.37

T. S. Герасименко¹, Т. Б. Акимжанов²

¹к.т.н., преподаватель, Энергетический факультет, Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

²доктор PhD, преподаватель, Энергетический факультет, Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

e.mail: ¹melary-5@mail.ru; ²takimzhanov@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38 КВ

Несимметрия напряжений – довольно распространенное явление в электрических сетях различного класса напряжений и один из показателей по которому оценивается качество электрической энергии. Ухудшение показателей качества электроэнергии приводит к росту потерь электроэнергии, снижению эффективности работы и сокращению срока службы электрооборудования, уменьшению надёжности как отдельных электроприёмников, так и энергосистемы в целом.

Ключевая цель данной работы заключалась в оценке качества электроэнергии в сельских сетях по коэффициенту несимметрии напряжений.

Анализ полученных результатов проводился с использованием методов исследования экспериментальных данных с обработкой результатов на ЭВМ; методов теории вероятности и математической статистики.

В ходе исследования было выявлено, что коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям не соответствуют нормам оговоренным в ГОСТ 32144-2013.

Определен вид и параметры закона распределения случайной величины K_{2n} (логарифмически нормальное распределение), достоверность которого была проверена через критерий согласия.

Результаты научного исследования могут быть использованы для обоснования выбора и применения различных способов и методов улучшения качества электрической энергии.

Ключевые слова: качество электрической энергии, несимметрия напряжений, коэффициент обратной последовательности, теория вероятности, математическая статистика.

ВВЕДЕНИЕ

Основным инструментом модернизации и повышения эффективности главных секторов экономики РК является реализация энергетически эффективной государственной политики. Постановлением Правительства Республики Казахстан утверждена Программа «Энергосбережение – 2020» [1]. Для выполнения данной программы назрела необходимость в проведении энергетически эффективных мероприятий направленных на уменьшение потерь электрической энергии, особенно в сельских электрических сетях [2].

Потери электроэнергии в сетях считаются основными показателями эффективности и экономичности их работы. Это своего рода индикатор энергосберегающей деятельности предприятий.

Одной из причин возникновения дополнительных потерь является некачественная электроэнергия.

В соответствии с ГОСТ 32144-2013 качество электрической энергии характеризуется рядом показателей [3]. Наиболее характерным показателем для низковольтных сельских электрических сетей является несимметрия напряжений.

Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трехфазной электрической сети напряжений обратной и нулевой последовательностей, которые значительно меньше по величине, чем соответствующие составляющие напряжения прямой (основной) последовательности.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С каждым годом в распределительных сетях 380/220 В наблюдается рост коммунально-бытовых нагрузок. Причём увеличивается, как правило, количество однофазных потребителей (осветительные приборы, электроплиты, электрочайники, холодильники и т.п.) с регулируемой мощностью. Следствием этого является увеличение несимметрии токов и напряжений, то есть значений их симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей. Несимметрию напряжений в электросетях создают сами потребители электроэнергии. Она может происходить исключительно в трехфазной сети и только под действием неравномерного разделения нагрузок по её фазам либо из-за случайного характера включения и отключения каждого потребителя.

Суммарный ущерб, связанный с несимметрией в электрических сетях, включает: стоимость дополнительных потерь электроэнергии;

технологический ущерб; ущерб, обусловленный снижением светового потока ламп, установленных в фазах с пониженным напряжением, и сокращением срока службы ламп; увеличение отчислений на реновацию от капитальных затрат, установленных в фазах с повышенным напряжением; ущерб из-за уменьшения реактивной мощности, генерируемой конденсаторными установками и синхронными двигателями [4].

Вопросы состояния качества электроэнергии и его влияния на работу элементов сети и электроприемников применительно к сетям сельскохозяйственного назначения являются наименее изученными. Для анализа проблемы необходимо накопление экспериментальных данных о значениях показателей качества электроэнергии в сетях и наличии нагрузок, которые снижают эти показатели. Решение вопросов, связанных с прогнозированием качества электроэнергии, требует обширного материала о динамике изменения электрических нагрузок, об изменении удельного веса отдельных элементов электрической сети (в том числе и электроприемников) [5].

Несимметрия напряжений, в соответствии с ГОСТ, характеризуется коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности и коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Нормально допустимые значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности в точке общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,4 кВ равны 2 %. Предельно допустимые – 4 % [3].

Методика исследований

Для оценки качества электрической энергии поставляемой энергоснабжающей организацией были проведены экспериментальные исследования коэффициентов несимметрии по обратной и нулевой последовательностям. Измерения проводились на вводе жилого дома расположенного в сельской местности с наличием однофазной и трехфазной нагрузкой. Замеры были выполнены сертифицированным прибором Fluke – 434, исследуемый интервал времени – неделя. В дальнейшем полученные базы данных обрабатывались в программе Microsoft (MS) Excel.

Основные результаты исследований

По результатам исследований и анализа полученных зависимостей показателей несимметрии напряжений в действующей сети 0,38 кВ, установлено, что качество электрической энергии, не соответствует требованиям государственного стандарта, а сами показатели несимметрии напряжений превышают установленные ГОСТом значения.

На основании полученных данных измерений, в результате расчёта получены временные диаграммы изменения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений в исследуемой линии

электропередач. Как видно из представленных на рисунке 1 диаграмм, коэффициенты обратной (K_{2u}) и нулевой (K_{0u}) последовательностей напряжения, не находясь в пределах, установленных государственным стандартом для данных показателей.

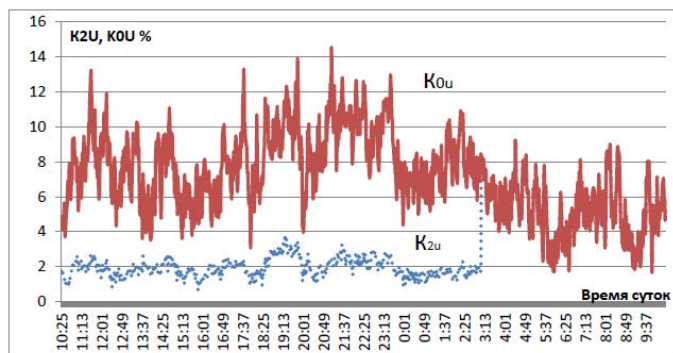


Рисунок 1 – Временные диаграммы изменения коэффициентов несимметрии напряжений обратной и нулевой последовательностей в линии 0,38 кВ.

Вычислив средние суточные значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям в процентах как результат усреднения можно увидеть картину изменения этих коэффициентов по дням недели (рисунок 2).

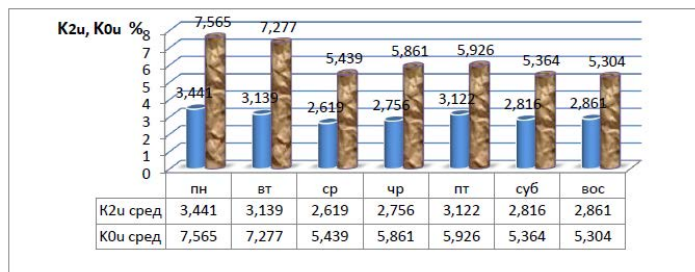


Рисунок 2 – Гистограмма усредненных значений коэффициентов несимметрии напряжений обратной и нулевой последовательностей в течение недели

Несимметрия трехфазных систем напряжений – это кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха, степень влияния на надежность

и эффективность работы электрооборудования которой оценивается по величине коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности. Эти значения имеют случайный характер, наиболее полную характеристику случайных величин дают законы их распределения, поэтому для анализа и дальнейшего прогноза изменения K_{2U} необходимо применить методы теории вероятностей и математической статистики. Анализ современных работ [6] показал, что распределение случайной непрерывно распределенной величины K_{2U} преимущественно подчиняется нормальному закону распределения.

Так как несимметрия в сети 0,38 кВ носит случайный характер, то для точного анализа и дальнейшего прогноза изменения рассматриваемых показателей качества электрической энергии необходимо использовать методы теории вероятностей и математической статистики.

Проведем статистический анализ полученных результатов исследований. Первоначально количество измерений K_{2U} составило 10 080. Далее провели усреднение значений, в соответствии с ГОСТ 32144–2013, в 10-минутном интервале. Объем выборки составил $N=1008$.

Вычисляем размах варьирования (разность между наибольшим и наименьшим значением выборки):

$$l = X_{\max} - X_{\min} \tag{1}$$

где X_{\max} – максимальное значение выборки; X_{\min} – минимальное значение выборки;

$$l = 9,93 - 0,54 = 9,39$$

Разбиваем выборку на 12 интервалов.

$$\text{Находим шаг интервала: } h = \frac{l}{n} = \frac{9,39}{12} = 0,78$$

Определим относительную частоту по формуле

$$F_{\text{отн}} = \frac{f}{N} \tag{2}$$

где N – объем выборки; f – частота, определяем теоретические частоты наблюдаемой величины K_{2U} .

Составляем интервальный ряд распределения частот и относительных частот (табл. 1).

Таблица 1 – Распределение коэффициента несимметрии обратной последовательности

Интервал	Середина интервала	Частота	Относительная частота
1	2	3	4
0,54 – 1,32	0,93	130	0,129
1,32 – 2,1	1,71	385	0,382
2,1 – 2,89	2,49	187	0,186
2,89 – 3,67	3,28	86	0,085
3,67 – 4,45	4,06	76	0,075
4,45 – 5,24	4,84	49	0,049
5,24 – 6,02	5,63	39	0,039
6,02 – 6,8	6,41	28	0,028
6,8 – 7,59	7,19	12	0,012
7,59 – 8,37	7,98	10	0,009
8,37 – 9,15	8,76	3	0,003
9,15 – 9,93	9,54	3	0,003

Пользуясь полученными значениями из таблицы 1, построим полигон частот (рис. 3) и гистограмму относительных частот (рис. 4). Гистограмма является наиболее удобной формой представления информации об изменениях случайной величины. График полигона и гистограмма распределения коэффициента по обратной последовательности напряжений дает визуальную ориентировочную оценку предполагаемого закона распределения. На гистограмме (рис. 4) наблюдается правый длинный «хвост» эмпирического распределения. Общий характер эмпирического распределения подтверждает обоснованность выбора модели логарифмически нормального распределения.

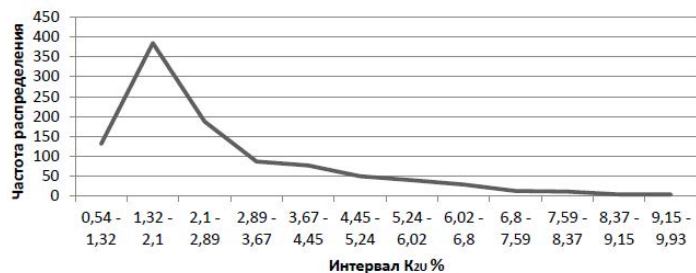


Рисунок 3 – Полигон частот

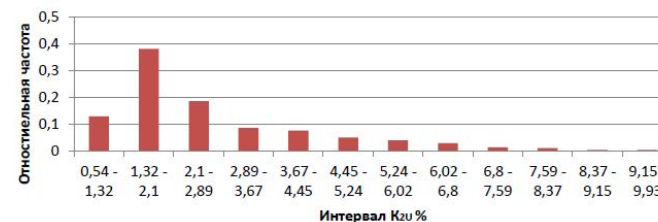


Рисунок 4 – Гистограмма относительных частот

Определим дисперсию коэффициента K_{2u} , которая характеризует степень разброса значений около среднего значения [7]:

$$D_{k_{2u}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (K_{2ui} - K_{2u_{ср}})^2 \quad (3)$$

Значение дисперсии составило для коэффициента обратной последовательности напряжения 0,195 %.

Определим вероятность появления i -го исхода значения коэффициента обратной последовательности напряжения по выражению:

$$p_{k_{2u}} = \frac{n_{k_{2ui}}}{N}, \quad (4)$$

где $n_{k_{2ui}}$ – количество исходов коэффициентов напряжения обратной последовательности (табл. 1);

N – общее количество измерений.

Полученные значения заносим в четвертый столбец таблицы 1.

Для получения закона распределения коэффициента обратной последовательности напряжения определим математическое ожидание [7]:

$$M(K_{2u}) = \sum (K_{2u} \cdot p_{K_{2u}}) \quad (5)$$

Определенное по выражению (5) математическое ожидание составило:

$$M(K_{2u}) = 2,66884\%$$

Определяем среднее квадратичное отклонение по выражению:

$$\sigma_{DK_{u2}} = \sqrt{D(K_{u2})} \quad (6)$$

$$\sigma_{DK_{u2}} = 0,442 \%$$

Произведя обзор законов распределения, было принято логарифмически нормальное распределение, ввиду того, что оно (при $\mu = 0,5$) имеет

график, наиболее похожий на гистограмму распределения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности. В результате можно сформировать гипотезу о данном распределении как подчиняющемся логарифмически нормальному закону.

За теоретический закон примем логарифмически нормальное распределение. Функция плотности логарифмически нормального распределения имеет вид [8]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_{\log} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln(x) - \overline{\ln(x)})^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (7)$$

где x – случайная величина;

$\overline{\ln(x)}$ – среднее логарифма случайной величины;

σ_{\log} – среднеквадратическое отклонение логарифмов случайной величины.

$$\overline{\ln(x)} = \frac{\sum_{i=1}^n [\ln(x_i) \cdot P_i]}{\sum_{i=1}^n P_i} = 0,824 \quad (8)$$

Среднеквадратическое отклонение логарифмов определяется по формуле:

$$\sigma_{\log} = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{x}^2}\right)}, \quad (9)$$

где \bar{x} – арифметическое среднее случайных чисел; σ , – среднее квадратичное отклонение случайных чисел.

$$\sigma_{\log} = 0,295$$

Принятую гипотезу о применении выбранного закона распределения необходимо проверить при помощи критериев согласия.

Осуществим проверку возможности принятия закона распределения, используя критерий согласия Колмагорова.

Критерий согласия Колмогорова – Смирнова заключается в сравнении значений эмпирической и теоретической функций сравнения [9].

Считается, что соответствие удовлетворительное, если выполняется условие:

$$D_{\max} \cdot \sqrt{n} \leq \lambda_a, \quad (10)$$

где D_{\max} – наибольшее отклонение теоретической кривой распределения от экспериментальной по модулю;

n – общее число опытных интервалов;

λ_a – критерий Колмогорова ($\lambda_{0,1}=0,82$; $\lambda_{0,05}=0,89$; $\lambda_{0,01}=1,04$) [9].

$$0,25 \cdot \sqrt{12} = 0,866 \leq 0,89$$

Условие удовлетворяется. Проверка по критерию согласия Колмогорова – Смирнова, подтверждает, что случайная непрерывно распределенная величина K_{2u} подчиняется логонормальному закону распределения теории вероятности.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования показали, что качество электрической энергии не соответствует нормам, заявленным в ГОСТ. Так средние значения коэффициентов обратной (2,96 %) и нулевой (6,11 %) последовательностей превышает установленные нормальные (2 %) и максимальные (4 %) значения.

Наличие достоверной информации об уровнях искажения показателей качества электрической энергии, а также определение величины вероятности появления несимметрии напряжений на конкретном объекте представляют практический интерес для реализации последующей разработки технических мероприятий по устранению несимметрии напряжений и обоснованию выбора средств симметрирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Правительственная программа «Энергосбережение – 2020». Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 августа 2013 г № 904. (<http://www.adilet.zan.kz>.Программа).

2 **Акпанбетов, Д. Б., Каниев, Е., Даулетияр, Р., Анарбаев, А.** Энерго и ресурсосбережение непрерывным регулированием режима работы сетевого насосного агрегата/ Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. № 1 (77) 2018. – С. 278.

3 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013. – М. : Стандартиформ, 2014. – 19 с.

4 **Андрианов, В. А.** Несимметрия напряжений и способы ее снижения./ Материалы XX Международной научно-практической конференции: Сборник научных трудов. Центр научной мысли. Из-во: «Перо» – 2016. – С. 176.

5 **Королевич, Н. Г., Янукович, Г. И.** Качество напряжения в сельских электрических сетях республики Беларусь/ Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. № 3 2015. – С. 245.

6 **Наумов, И. В.** Статистическая оценка режимов работы электрических сетей напряжением 0,38 кВ /И. В. Наумов, Д. А. Иванов, С. В. Подъячих// Вестник ИРГСХА: науч.-практ. журн. – Иркутск : Из-во Иркутск. гос. аграр. ун-та им. А. А. Ежевского. – 2015. – № 67. – С. 107–116.

7 Исследования качества и дополнительных потерь электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кв. /Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шонаев Д. Т., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарапиденов Д. С. / Вестник ПГУ. Серия энергетическая. № 2. 2016 г.

8 **Романова, В. В., Хромов, С. В.** Применение методов математической статистики для прогнозирования возникновения несимметрии напряжений в электрических сетях./ Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2017. Т.17, № 4. – С. 59–71.

9 **Степнов, М. Н.** Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М. : Машиностроение, 1985. – 232 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Т. С. Герасименко¹, Т. Б. Акимжанов²

Кернеуі 0,38 кВ электр тораптарындағы кернеу симметриясыздығын тәжірибелік зерттеу

^{1,2}Энергетикалық факультеті,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Нұр-Сұлтан қ, 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

T. S. Gerasimenko¹, T. B. Akimzhanov²

Experimental investigation of voltage unbalance in rural electric mains 0.38 kV

^{1,2}Energy Faculty,

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Кернеулер симметриясыздығы – әр түрлі класстағы кернеулі электр тораптарында кеңінен тараған құбылыс және электр энергиясының сапасын бағалаудың көрсеткіштерінің бірі. Электр энергиясының көрсеткіштері сапасының төмендеуі электр энергиясының шығындарының осуіне әкеледі, электр жабдықтарының жұмыс тиімділігін төмендетеді және қызмет

мерзімін қысқартады, электр қабылдағыштарының және жалпы энергожүйенің сенімділігінің төмендеуіне әкеледі.

Осы жұмыстың басты мақсаты – ауылды мекендегі электр энергиясының сапасын кернеу симметриясыздығының коэффициенті бойынша бағалау.

Өлшеу нәтижелерін талдау тәжірибелік деректерді зерттеу және ЭЕМ арқылы оңдеу әдістері, ықтималдық теориясы мен математикалық статистика әдістері бойынша орындалды.

Зерттеу барысында кернеудің кері және нөлдік бағыттар бойынша симметриясыздық коэффициенттері ГОСТ 32144-2013 стандартында рұқсат етілген деңгейге сәйкес келмейді.

K_{2u} кездейсоқ шамасының үлестірім заңының түрі мен параметрлері анықталған (логарифмдік нормаль үлестірім), оның шындығы келісім критеріі арқылы тексерілді.

Ғылыми зерттеу нәтижелері электр энергиясының сапасын арттыру тәсілдері мен әдістерін негіздеуде және таңдауда пайдаланылуы мүмкін.

Voltage unbalance is a fairly common phenomenon in electrical networks of different voltage classes and one of the factor by which the quality of electrical energy is estimated. Deterioration factor of electric power quality leads to an increase in electric power losses, a decrease in operational efficiency and a reduction in the service life of electrical equipment, a decrease in the reliability of both individual electrical receivers and the power system in its entirety.

The key objective of this work was to assess the quality of electricity in rural networks by the coefficient of voltage unbalance.

The analysis of the results was carried out by using the methods of research of experimental data with the processing of the results on a computer; methods of probability theory and mathematical statistics.

During the study it was found that the voltage unbalance coefficients of both the in verted and zero sequences do not accord with the standards specified in GOST 32144-2013.

The type and parameters of random values distribution law K_{2u} (logarithmically normal distribution) was determined and the reliability of which was tested by means of goodness of fit,

The results of scientific research can be used to explain the choice and application of various methods and techniques to improve the quality of electrical energy.

А. В. Денисюк

бакалавр, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан
e-mail: anddenissyuk@gmail.com

**ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КРИПТОАНАЛИЗА
ЖК-МОНИТОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ СДАЧИ ТЕСТИРОВАНИЙ**

Данная работа посвящена изучению возможностей применения методов акустического криптоанализа для проверки честности в сдаче компьютерных тестирований. В частности, рассматривается возможность использования в данных целях открытой в августе 2018 года уязвимости ЖК-мониторов к атакам через побочные акустические каналы. Для этого мы записали звуки, издаваемые монитором при открытой тестовой оболочке, а затем при открытом браузере на странице с поисковым движком. Записи были преобразованы в спектрограммы, на основании анализа которых был сделан положительный вывод о возможности использования акустической уязвимости ЖК-мониторов для контроля самостоятельности сдачи тестирований.

Ключевые слова: криптоанализ, компьютерное тестирование.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть современного акустического криптоанализа фокусируется на звуках, создаваемых компьютерными клавиатурами и внутренними компонентами компьютера, исторически он также применяется к принтерам и электромеханическим дешифрующим машинам.

Одним из самых значимых моментов в зарождении и развитии атак, основанных на акустическом криптоанализе было объявление в 2004 году Дмитрием Асоновым и Ракеш Агравалом из Исследовательского центра IBM Almaden о том, что компьютерные клавиатуры и клавиатуры, используемые на телефонах и банкоматах уязвимы для атак на основе звуков, создаваемых разными клавишами. Их атака использовала нейронную сеть для распознавания нажатой клавиши. Анализируя записанные звуки, они смогли восстановить вводимый текст. Эти методы позволяют злоумышленнику

использовать скрытые устройства для прослушивания для получения паролей, кодовых фраз, персональных идентификационных номеров (ПИН) и другой информации, вводимой с клавиатуры [1].

На протяжении следующих 14-ти лет проводилось множество исследований, посвященных установлению возможностей эксплуатации акустической уязвимости клавиатур и её применению в различных сценариях. И, наконец, в 2018-ом году уязвимость такого типа была обнаружена в ЖК-мониторах: возможность «слышать» изображение на экране, причем без какого-либо специального оборудования: достаточно микрофона веб-камеры, телефона, либо встроенных микрофонов [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Мы считаем, что акустическая уязвимость ЖК-мониторов может быть использована и в положительных целях, для проверки открываемых студентами окон на компьютерах во время сдачи тестирования. Такой метод контроля может быть особо выгоден в отношении студентов, проходящих тестирование дистанционно, где преподаватель не способен наблюдать за действиями тестируемого. В качестве примера можно привести разрабатываемую в данный момент в СКГУ им. М. Козыбаева тестовую оболочку для обучающихся на дистанционной форме обучения.

Для демонстрации была использована тестовая оболочка Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева и моноблок со встроенным микрофоном (рисунок 1).

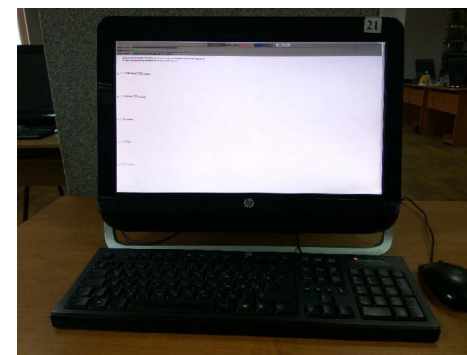


Рисунок 1 – Моноблок с открытой тестовой оболочкой

Была подготовлено двадцать скриншотов из тестовой оболочки (несколько примеров на рисунке 2) и двадцать скриншотов с различными результатами и главной страницей поискового движка Google (рисунок 3).

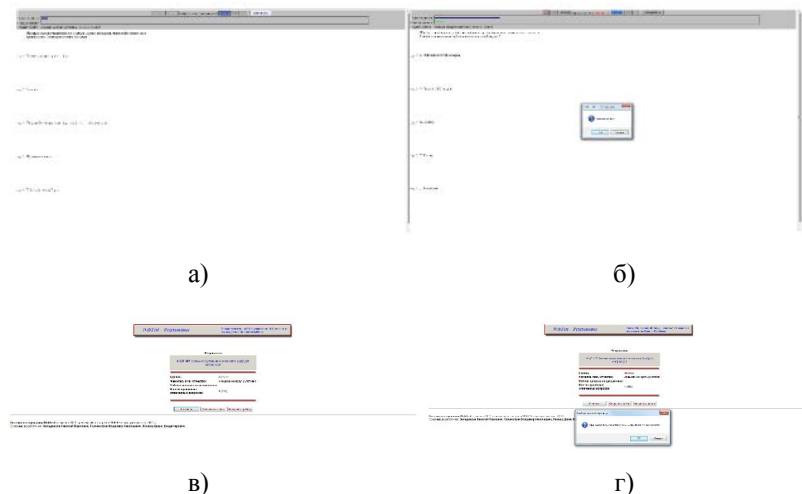


Рисунок 2 – Тестовая оболочка

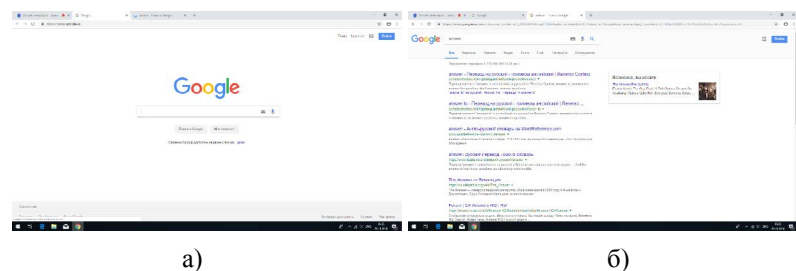


Рисунок 3 – Поисквик Google

Для того, чтобы проверить наличие различий и схожестей между акустической уткой монитора при отображении различных изображений, была использована программа Vaudline (рисунок 4).

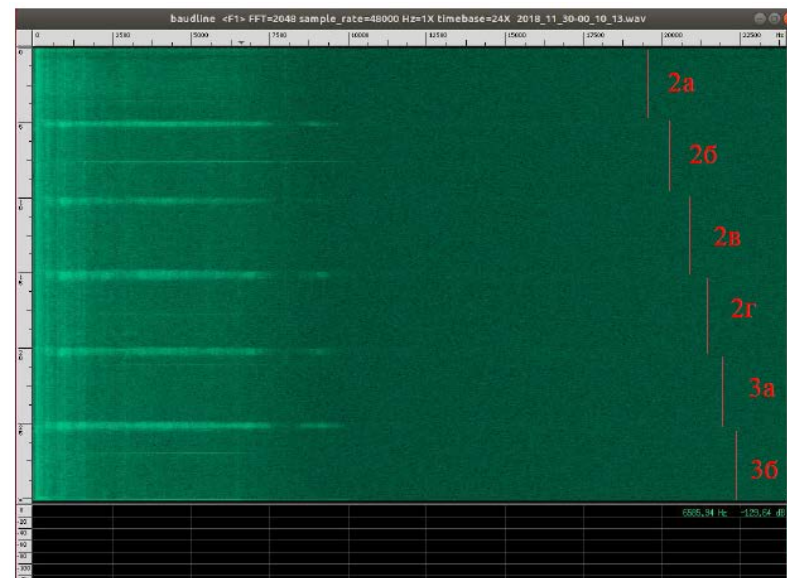


Рисунок 4 – Спектрограмма записи со встроенного микрофона

Между изображениями оболочки и изображениями поисковика было найдено достаточно различий для того, чтобы с уверенностью установить возможность обучения нейронной сети для классификации изображения как относящегося к тесту либо как относящегося к поисковому движку.

Продолжением данной работы будет являться реализация алгоритмов очистки звуковой записи от шума и ее разбиения на куски, а также составление и тренировка нейронной сети. Достаточное количество необходимых данных для тренировки сети предполагается собрать за время одной экзаменационной сессии в СКГУ им. Козыбаева – по пятьдесят пар изображений и соответствующих им звуковых фрагментов на каждую различную модель монитора, из тех, на которых сдается тестирование.

ВЫВОДЫ

В этой статье мы провели анализ возможностей использования методов акустического криптоанализа для контроля самостоятельности сдачи тестирований и сделали вывод о возможности использования акустической уязвимости ЖК-мониторов с данной целью, а также определили направление дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Dmitri Asonov, Rakesh Agrawal. Keyboard acoustic emanations. In IEEE Symposium on Security and Privacy 2004.

2 Daniel Genkin, Mihir Pattani, Roei Schuster, Eran Tromer. Synesthesia: Detecting Screen Content via Remote Acoustic Side Channels – Santa Barbara: CRYPTO 2018 conference.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

A. B. Денисюк

Тестілеудің тәуелсіздігін бақылау үшін скд мониторларының акустикалық криптолизаторларын қолдану

Инженерлік және сандық технологиялар факультеті,

М. Қозыбаев атындағы

Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,

Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. V. Denisyuk

Application of acoustic cryptoanalysis of LCD monitors to control the honesty in taking tests

Faculty of Engineering and Digital Technology,

M. Kozybayev North Kazakhstan State University,

Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Бұл мақалада компьютерлік тестілеудің тұтастығын тексеру үшін акустикалық крипталдандыру мүмкіндігін зерттеуге арналған. Атап айтқанда, осы мақсатта 2018 жылдың тамыз айында ашылған жанама акустикалық арналар арқылы СК-мониторларының шабуылдарына осалдықты пайдалану мүмкіндігі қарастырылуда. Мұны орындау үшін біз монитордың ашық сынақ қабығы арқылы жасаған дыбыстарын жаздық, содан кейін браузер іздестіру жүйесі бар бетте ашылды. Жазбалар тестілеудің тәуелсіздігін бақылау үшін СК-мониторларының акустикалық осалдықтарын қолдану мүмкіндіктері туралы оң қорытынды жасалып, спектрограммаларға айналды.

This paper is devoted to the study of the possibilities of using acoustic cryptanalysis to verify the integrity of computer testing. In particular, the possibility of using for this purpose the vulnerability of LCD monitors to attacks through side acoustic channels, opened in August 2018, is being considered. To do this, we recorded the sounds made by the monitor with an open test shell, and then with the browser open on the page with the search engine. The records were transformed into spectrograms, on the basis of the analysis of which a positive conclusion was made about the possibility of using the acoustic vulnerability of LCD monitors to control the honesty in taking tests.

А. В. Дробинский¹, Д. С. Уразалимова²

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²ст. преподаватель, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: ¹argin_intel@mail.ru; ²dariya_u@mail.ru

**ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ
ТВЕРДОГО УГЛЕРОДИСТОГО ТОПЛИВА**

В статье приведены различные технологии и способы подготовки твердого углеродистого топлива с целью снижения вредных выбросов в атмосферу, а также с целью повышения количества теплоты, выделяемой при сжигании топлива и повышения эффективности горения в топке.

В статье изложены достоинства и недостатки различных способов высушивания угля: поэтапный термический при температурах свыше 300 °С; водяным паром при давлении; нагревом в присутствии органической кислоты. Высокосернистый уголь предварительно обессеривают в псевдо кипящем слое, затем сжигают, добавляя известняк.

Применяемая в промышленной энергетике технология подготовки твердого углеродистого топлива и технология его сжигания не позволяют обеспечить 100 % полезное использование органической части топлива, по причине недостаточно высокой температуре в топке, 1200 °÷1450 ° С. Только при температурах 1600° и выше, происходит полное выгорание органической части топлива.

Доказано, что при слоевом сжигании топлива, в котором твердое углеродистое топливо смешивают с известняком путем послыной закладки, обеспечивается значительное повышение теплотворной способности продукта, обеспечивающего процесс тепловыделения в течение длительного времени.

Ключевые слова: твердое топливо, известняк, топка, сжигание, экономия топлива, теплотворная способность, тепловыделение.

ВВЕДЕНИЕ

Известны различные технологии и способы подготовки твердого углеродистого топлива с целью снижения вредных выбросов в атмосферу,

повышения количества теплоты, выделяемой в топке продуктами горения и повышения эффективности процесса горения.

Одной из причин низкой теплотворной способности низкосортного угля является высокое содержание воды в нем. При этом вода может присутствовать в паровой форме, химически связанной в виде геля или поглощенной воды. Для повышения теплотворной способности этого угля необходимо удалить большую часть влаги из него.

Большинство способов подготовки топлива обеспечивают снижение вредных выбросов в атмосферу, но при этом одновременно снижается теплотворная способность топлива и как следствие снижается тепловыделение в топке.

Перспективным является способ подготовки твердого углеродистого топлива, в котором кусковое топливо смешивают с кусковым известняком путем послыной закладки до заполнения 0,75 объема топки, увлажнение производят подачей атмосферного воздуха естественной влажности в процессе горения продукта.

Кусковой известняк является хорошим сорбентом токсичных компонентов отходящих газов. В процессе обжига известняка происходит адсорбция газовых компонентов из отходящих выбросов в атмосферу.

Состав компонентов подготовленного топлива при сжигании в топке обеспечивает протекание реакций химического взаимодействия сопровождающихся значительным тепловыделением, что приводит к повышению температуры горения топлива и полному сгоранию его органической части.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Известны различные технологии и способы повышения теплотворной способности низкосортного угля путем его предварительного обезвоживания перед сжиганием.

При поэтапном термическом высушивании угля при температурах свыше 300°С вода испаряется, в угле не происходят структурные изменения, продукт остается гидрофильным и его теплотворная способность повышается незначительно, и возможно окисление топлива.

При высушивании водяным паром при давлении [1] в угле происходят структурные изменения, продукт становится гидрофобным, повышается его теплотворная способность, однако также незначительно.

Известен также способ обезвоживания низкосортного твердого топлива [2] путем увеличения содержания в нем смолы, в котором обезвоживание производят нагревом в присутствии органической кислоты.

Известен способ термической переработки высокосернистого угля [3], в котором высокосернистый уголь предварительно обессеривают в псевдо кипящем слое при температуре $370^{\circ} \div 390^{\circ} \text{C}$ в окислительной среде, затем сжигают при температуре горения 850°C , подавая одновременно известняк. Это способствует связыванию окислов серы и выделению их в состав твердых остатков. Выбросы вредных веществ в атмосферу снижаются до $95 \div 98 \%$.

Недостатками этих трех способов является незначительное повышение теплотворной способности, сложность технологического процесса, высокие энергетические затраты.

Для повышения эффективности использования твердого углеродистого топлива применяются также различные присадки, основное назначение которых препятствовать отложениям сульфатов и сульфидов на высокотемпературных поверхностях нагрева и снизить скорость коррозии под действием золы угля с добавками.

Для снижения вредных выбросов в атмосферу и экономии топлива твердое углеродистое топливо смешивают с негашеной известью [4]. Технология в способе достаточно сложная и трудоемкая. Смесь увлажняют, выдерживают в течение $0,5 - 1$ часа и затем подвергают измельчению.

Благодаря механической активации топлива и извести в данном способе температурный уровень взаимодействия органической части топлива с гидратированным оксидом кальция протекает при низких температурах $33^{\circ} \div 40^{\circ} \text{C}$, вместо свыше 150°C , когда взаимодействие происходит без механической активации. Весь процесс горения минеральной части топлива протекает при относительно низких температурах $700^{\circ} \div 850^{\circ} \text{C}$ в присутствии шлака, состоящего из топлива и извести, способного поглощать путем химических реакций взаимодействия и растворения структурных элементов топлива, содержащих соединения серы, азота и др.

Регламентируемые параметры по расходу извести соответствуют оптимальному снижению вредных выбросов в атмосферу, при незначительном снижении физико-механических свойств топлива, т.е. при незначительном снижении его теплотворной способности.

Параметры режима измельчения и степень измельчения обусловлены максимальным накоплением свободной энергии и поверхностный контакт частиц топлива с известью до расстояния межмолекулярного взаимодействия.

Нижний предел показателя общей степени измельчения (12) удовлетворяет условию, когда активно взаимодействуют известь и органическая часть топлива до воспламенения. Верхний предел показателя степени измельчения (40) удовлетворяет условию сохранения кинетических закономерностей горения, свойственных данному типу топлива. Дальнейшее измельчение продукта приводит к существенному снижению его теплотворной способности.

Данный способ позволяет улучшить технико-экономические показатели агломерационного производства, а именно, уменьшить расход топлива на $14,3 \%$, снизить на $80 \div 90 \%$ выбросы в атмосферу оксидов серы и азота. Присутствие относительно крупных кусочков извести образуют локальные перегревы топлива: в местах гашения кусочков они нагреваются до $200^{\circ} \div 250^{\circ} \text{C}$.

Недостатком данного способа является снижение теплотворной способности топлива, сложность технологического процесса его подготовки, высокие энергетические затраты. В целом же, по известному способу в топке сжигается практически пылевоздушная смесь, само приготовление которой требует значительных энергетических и материальных затрат.

После сжигания измельченного низкосортного угля (например, угля Экибастузских месторождений) в топках энергетических предприятий в золошлаковых отходах содержится от 16 до 25% несгоревшей части горючей массы топлива.

Применяемая в промышленной энергетике технология подготовки твердого углеродистого топлива и технология его сжигания не позволяют обеспечить 100% полезное использование органической части топлива. Одной из причин этому является недостаточно высокая температура в топке, равная $1200^{\circ} \div 1450^{\circ} \text{C}$. Температура плавления золы выше – 1500°C . Традиционная теплоэнергетика относится к категории крайне затратных и малоэффективных.

При температурах 1600° и выше, которое достигается обогащенным кислородом дутьем со скоростью $300 \div 320$ м/с сжигание топлива в топке происходит в расплаве шлака. В топке происходит интенсивный тепломассобмен, при котором перерабатывается низкосортный уголь, не требующий предварительной подготовки, и в шлаках отсутствует углерод. Такие высокие температуры применяются в камнелитейном производстве и литье из шлаков.

Известен способ и топка для слоевого сжигания твердого топлива, которое может быть использовано в котельных установках и бытовых печах [5].

В данном способе в топку загружают слоями кусковое топливо и кусковой известняк до заполнения $0,75$ объема топки, на каждый слой топлива загружают слой известняка, в количестве, равном $1 \div 3$ толщины слоя топлива и воспламеняют топливо.

Техническим результатом данного способа является экономия топлива, более эффективное использование органической части топлива, значительное повышение теплотворной способности продукта, обеспечивающего процесс тепловыделения в течение длительного времени $12-48$ часов при низкой стоимости исходного сырья и не сложной технологией приготовления.

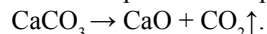
Это достигается за счет того, что твердое углеродистое топливо смешивают с известняком путем послышной закладки, увлажнение производят подачей атмосферного воздуха естественной влажности в процессе горения продукта.

Типичные усредненные характеристики используемого угля: влажность – 5 %; зольность – 45,8 %; сера – 0,4÷0,8 %; низшая теплота сгорания 3703 ккал/кг. Химический состав горючей массы, %: С – 81,3; Н – 5,3; N – 1,6; O – 11,8.

Химический состав золы, %: SiO₂ – 62,0; Al₂O₃ – 27,9; Fe₂O₃ – 4,8; CaO – 0,9; MgO – 0,5; Na₂O+K₂O – 0,7; TiO₂ – 1,3; P₂O₅ – 0,4; SO₃ – 0,8.

Химический состав известняка, %: CaCO₃ – 70÷80; MgCO₃ – 1,5÷2,5; Al₂O₃ – 0,8÷0,95; SiO₂ – 0,5÷0,8; Fe₂O₃ – 0,5÷0,8; остальное – 12,2 ÷24,95.

При горении угля известняк нагревается и происходит его разложение:



Двуокись углерода CO₂ уходит с дымовыми газами, а оксид кальция CaO в присутствии металлов, реагирует с содержащимся в угле углеродом и образует карбид кальция: $\text{CaO} + \text{C} + \text{Me} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{MeO}$ -H, где Me – металл, содержащийся в угле или известняке. При протекании этой реакции выделяется большое количество теплоты, что приводит к повышению температуры горения низкосортного угля. Образовавшийся карбид кальция CaC₂, реагирует с парами воды, поставляемой воздухом или углем: $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$.

Полученный ацетилен C₂H₂, у которого низкая температура самовоспламенения (350÷400° С) сгорая, продлевает процесс горения и повышает температуру горения в топке: $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} \uparrow + \text{H}_2\text{O} \uparrow$.

Гидрат кальция Ca(OH)₂ при высокой температуре разлагается на оксид кальция и воду: $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$. Получаемый таким образом CaO является негашеной известью с хорошей макроструктурой.

Наличие в известняке оксидов кремния, алюминия и железа при взаимодействии с углеродом в присутствии металлов при достаточно высокой температуре также приводит к образованию карбидов кремния – SiC, алюминия – AlC₃, железа – Fe₃C. Температура плавления этих карбидов, соответственно, равна: 1610 °С, 2200 °С, 1700 °С. Взаимодействуя с парами воды поступающей извне или получаемой в ходе реакций образующийся ацетилен также способствует поддержанию высокой температуры в топке.

Данный способ обеспечивает снижение расхода топлива, значительное повышение теплотворной способности низкосортного топлива, отсутствие органических веществ в дымовых газах и шлаковых отходах, упрощение технологического процесса подготовки топлива, снижение энергетических затрат.

ВЫВОДЫ

1 Способы подготовки твердого углеродистого топлива, основной целью которых является снижение вредных выбросов в атмосферу, путем смешивания топлива с известью происходит снижение теплотворной способности продуктов горения.

2 При термическом высушивании угля при температурах свыше 300 °С вода испаряется, в угле не происходят структурные изменения, его теплотворная способность повышается незначительно, но возможно частичное окисление топлива.

3 В способе слоевого сжигания твердого топлива, в котором твердое углеродистое топливо смешивают с известняком путем послышной закладки, а именно, в топку загружают слоями кусковое топливо и кусковой известняк до заполнения 0,75 объема топки, обеспечивается значительное повышение теплотворной способности низкосортного топлива, упрощение технологического процесса его подготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Способ обезвоживания низкосортного угля. Описание изобретения к патенту SU, 1099848, С 10 L 9/08, опубл. БИ № 23, 23.06.84.

2 Способ обезвоживания низкосортного топлива. Описание изобретения к патенту SU, 1056908, С 10 L 9/00, опубл. БИ № 43, 23.11.83.

3 Способ термической переработки высокосернистого угля. Описание изобретения к патенту SU, 1430399, С 10 L 9/08, опубл. БИ № 38, 15.10.86.

4 Способ подготовки твердого углеродистого топлива. Описание изобретения к патенту SU, 1829391, С 10 L 9/10, заявлен 1990 г.

5 Способ и топка для слоевого сжигания топлива. Описание изобретения к патенту KZ, 24279, F 23 B 7/00, опубл. БИ № 7, 15.07.2011.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

А. В. Дробинский¹, Д. С. Уразалимова²

Қатты қарбон отынды дайындаудың технологиялары мен әдістері

^{1,2}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. V. Drobinsky¹, D. S. Urazalimova²

Technologies and methods of solar carbon specialization

^{1,2}S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада атмосфераға зиянды шығарымдарды азайту, сонымен қатар жану кезінде шығарылатын жылу мөлшерін арттыру және пештегі жанудың тиімділігін арттыру үшін қатты көміртекті отынды дайындаудың әртүрлі технологиялары мен әдістері ұсынылған.

Мақалада көмірді кептірудің әртүрлі әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталған: 300 °C жоғары температурада фазалық жылу; қысымдағы бу; органикалық қышқылдың қатысуымен қыздыру арқылы. Күкірт көмірі жалған сұйықталған бөлігінде алдын-ала күкірттендіріледі, содан кейін әктас қосып күйдіріледі.

Өнеркәсіптік энергияда қолданылатын қатты көміртекті отынды дайындау технологиясы және оның жану технологиясы пештегі жоғары температураның жеткіліксіз болуына байланысты отынның органикалық бөлігін 100 % пайдалы пайдалануға мүмкіндік бермейді, 1200 ÷ 1450 °C.

Қатты көміртекті отын әктаспен қабаттасу арқылы араласатын отынның стратификацияланған жануымен ұзақ уақыт бойына жылуды кетіру процесін қамтамасыз ететін өнімнің калориялық құндылығының едәуір артуы қамтамасыз етілетіндігі дәлелденді.

The article presents various technologies and methods for preparing solid carbonaceous fuel in order to reduce harmful emissions into the atmosphere, as well as to increase the amount of heat released during combustion and increase the efficiency of combustion in the furnace.

The article describes the advantages and disadvantages of various methods of drying coal: phased thermal at temperatures above 300 °C; steam at pressure; by heating in the presence of an organic acid. Sulfur coal is pre-desulfurized in a pseudo-fluidized bed, then burned by adding limestone.

The technology of preparing solid carbon fuel used in industrial power engineering and its combustion technology does not allow for 100% useful use of the organic part of the fuel, due to the insufficiently high temperature

in the furnace, 1200÷1450 °C. Only at temperatures of 1600° and above does the organic part of the fuel burn out.

It has been proven that with stratified combustion of fuel, in which solid carbonaceous fuel is mixed with limestone by layering, a significant increase in the calorific value of the product, which ensures the heat release process for a long time, is ensured.

М. А. Елубай¹, С. О. Оспанбек²

¹к.х.н, доцент, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;
e-mail: sultan.ospanbek@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ ГУДРОНОВ ЖИДКИМ ПРОПАНОМ

В настоящее время все более остро встают проблемы подготовки остаточного сырья к глубокой переработке, экономии энергоресурсов, рациональной утилизации всех продуктов, получаемых при переработке.

В данной статье рассматриваются перспективы развития процессов деасфальтизации, исследовании процесса выделения деасфальтизатов и асфальтизатов из нефтяных гудронов с помощью растворителя – жидкого пропана, что дает возможность получения дополнительных полупродуктов – деасфальтизатов, повышение глубины переработки нефти, повышение эффективности работы нефтеперерабатывающего завода в целом

Ключевые слова: деасфальтизация, гудрон, глубокая переработка нефти.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное использование природного углеводородного сырья становится одной из важнейших проблем в условиях постоянного снижения объемов добычи нефти и истощения природных нефтяных ресурсов. Поэтому перед нефтепереработчиками всегда стоит задача сокращения до минимума объемов выпуска котельного топлива и достижения максимального (на единицу массы перерабатываемой нефти) выхода другой, более ценной, чем мазут, товарной продукции.

Одним из перспективных путей решения данной задачи является создание процесса предварительного разделения нефтяных остатков на деасфальтизат и асфальт с помощью углеводородного растворителя. При этом необходимо получить достаточно высокий выход деасфальтизата с низким

содержанием ванадия и никеля и найти направления выгодного применения асфальта, обеспечивающие высокую рентабельность технологии в целом.

Деасфальтизация гудрона пропаном применяется для полного удаления из нефтяных остатков (гудрона) асфальтенов и основного количества (до 80 %) смолистых веществ и полициклических ароматических углеводородов, с целью улучшения вязкостно-температурных свойств, индекса вязкости, коксуемости, цвета, стабильности (эксплуатационных свойств) масляных фракций. Целевым продуктом являются деасфальтизаты, которые применяются в качестве основы для производства моторных, авиационных, цилиндрических, трансмиссионных, компрессорных и других масел, а побочным – асфальты, служащие сырьем для производства битумов или компонентами котельных топлив. Процесс деасфальтизации гудронов в мировой нефтепереработке применяют при производстве не только высоковязких остаточных масел, но и компонентов сырья для каталитического крекинга и гидрокрекинга.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Процесс деасфальтизации гудронов или концентратов сжиженными низкомолекулярными углеводородами, главным образом жидким пропаном, используется как при производстве высоковязких остаточных масел, так и компонентов сырья для каталитического крекинга и гидрокрекинга. На некоторых заводах деасфальтизат является компонентом малосернистых жидких котельных топлив.

При не очень жестких требованиях к качеству деасфальтизата, в основном по коксуемости (2–3 вместо 1,0–1,3 % (масс.), по Конрадсону), например для деасфальтизата – сырья крекинга – растворение компонентов ведут пропан-бутановой смесью, а не техническим пропаном концентрацией 94–98 % (масс.).

Смоли и особенно асфальтены, – компоненты сырья, наименее растворимые в жидком пропане. На различной растворимости составляющих компонентов и основано использование пропана как деасфальтирующего растворителя. При температурах, близких к критической температуре пропана (около 96 °С), растворимость составных частей масляного сырья уменьшается. С повышением температуры процесса от 75 до 90 °С улучшается качество деасфальтизата, но снижается его выход, так как из раствора выделяются преимущественно компоненты с высокими значениями плотности, коэффициента преломления и молекулярной массы; к ним, в частности, относятся высокомолекулярные полициклические углеводороды.

Процесс деасфальтизации остаточного сырья техническим пропаном – жидкофазный процесс, осуществляемый во избежание испарения растворителя при давлении около 4 МПа. Выход деасфальтизата

соответствующего качества в значительной мере определяется характером сырья и колеблется в широком диапазоне – от 26 до 90 % (масс.). С ужесточением требований к качеству деасфальтизата и увеличением коксуемости сырья выход деасфальтизата уменьшается. Для одноступенчатых установок наиболее типичными являются деасфальтизаты вязкостью от 18 до 26 мм²/с при температуре 100 °С.

Производительность установок деасфальтизации весьма различна – от нескольких сотен до нескольких тысяч тонн сырья в сутки. На мощных установках сырье подвергают деасфальтизации в двух или более параллельно действующих колоннах. Размеры колонн с жалюзийными неподвижными элементами в зонах контактирования следующие: диаметр 2,4–3,6 м, высота 18–23 м. Удельная нагрузка живого поперечного сечения колонны 28–34 м³/ (м²*ч); общий объем сырья и пропана определяется, исходя из их количеств и плотностей при 20 °С. Кратность пропана к сырью (массовое соотношение (2,5–4,5):1) выбирается тем большим, чем выше выход деасфальтизата. Процесс ведут в сравнительно узком интервале температур: верха колонны 75–85 °С, низа 50–65 °С [7].

В настоящее время процесс деасфальтизации гудронов жидким пропаном может проводиться по двум вариантам:

- одноступенчатая деасфальтизация;
- двухступенчатая деасфальтизация.

Выбор варианта деасфальтизации гудронов зависит от качества используемого сырья и требований, предъявляемых к качеству остаточных масел и асфальтизатов.

Процесс деасфальтизации предназначен для удаления смолисто-асфальтеновых веществ, концентрирующихся в остатках от перегонки мазута.

Смоли – высокомолекулярные полициклические соединения с конденсированными ароматическими и нафтеновыми кольцами, включающими и гетероатомы.

Асфальтены – продукты уплотнения смол с молекулярной массой 1500–5000, твердый темно-коричневый или черный порошок. Смолисто-асфальтеновые вещества снижают индекс вязкости масел, термоокислительную стабильность, повышают коксуемость и нагарообразование, придают темную окраску маслам.

Кроме того, они снижают эффективность селективной очистки и депарафинизации, поэтому деасфальтизация – головной процесс при производстве остаточных смазочных масел.

При деасфальтизации происходит избирательное растворение парафиновых, нафтеновых, а также ароматических углеводородов с

небольшим числом конденсированных колец в растворителе, кроме того, происходит коагуляция и осаждение асфальтенов. В результате получаются две фазы – деасфальтизатная, из которой после удаления растворителя выделяют деасфальтизат, и асфальтовая фаза, в которой концентрируются асфальтены, металлоорганические соединения, частично смолы, гетероатомные соединения.

Использование полярных растворителей для деасфальтизации, во всяком случае, в чистом виде, нецелесообразно, так как насыщенные углеводороды растворяются в них плохо, а смолы достаточно хорошо. Поэтому в этом процессе применяются неполярные растворители, в основном низшие алканы C₂–C₆, в которых в соответствии с правилом растворимости Гильдебранда – Семенченко хорошо растворимы насыщенные углеводороды, моноциклоарены, а плохо растворимы асфальтены и смолы, имеющие высокие параметры растворимости Гильдебранда.

Параметры растворимости алканов возрастают с повышением их молекулярной массы; например, при 25 °С значения δ , (кал/см³)^{1/2}: пропан 6,54; бутан 6,95; пентан 7,16; гексан 7,34. Соответственно уменьшается разность параметров растворимости компонентов гудрона и растворителя, увеличивается растворяющая способность при переходе от пропана к гексану и выход деасфальтизата. Но одновременно в более высококипящих алканах повышается растворимость смол, селективность процесса снижается и качество деасфальтизата ухудшается [18].

Наиболее широко для деасфальтизации нефтяных остатков применяется пропан. Лучше всего в пропане и других сжиженных алканах растворяются жидкие парафиновые и нафтеновые углеводороды. Твердые парафины и церезины растворяются хуже из-за затрат энергии, соответствующих теплоте их плавления. Арены растворяются еще хуже в последовательности:

моно- > би- > полициклоарены

в соответствии с возрастающими значениями параметров растворимости Гильдебранда. Гетероатомные соединения, входящие в состав асфальтенов, плохо растворимы в пропане, а входящие в состав смол частично растворимы. Глубина обессеривания гудронов в результате деасфальтизации составляет 40–60 %, степень деметаллизации достигает 80–95 %.

В качестве растворителей при деасфальтизации применяются также смеси пропана с бутаном, смеси алканов C₄–C₅, C₃–C₆, C₂–C₇. Разрабатывается процесс деасфальтизации и дематаллизации нефти и тяжелых остатков сверхкритической экстракцией с диоксидом углерода.

Эффективность процесса деасфальтизации пропаном зависит от ряда факторов: качества сырья, температуры и давления, соотношения пропана к сырью, чистоты пропана.

Эффективность деасфальтизации зависит от глубины отбора вакуумных дистиллятов при вакуумной перегонке мазута. Сравнительно низкомолекулярные компоненты сырья легко растворяются в пропане и действуют как второй растворитель, снижая селективность процесса.

В силу вышеуказанных причин механизм процесса и некоторые закономерности пропановой деасфальтизации трактуются отдельными исследователями по-разному. Одни стремятся объяснить полученные результаты с позиции «теории коагуляции», другие с позиции «теории растворимости».

Тяжелые нефтяные остатки (гудроны, полугудроны, битумы) можно отнести к коллоидным системам, в которых в качестве дисперсной фазы выступают асфальтены с адсорбированными на них смолами, а в качестве дисперсионной среды – масла и растворимые в них смолы.

Сами по себе тяжелые нефтяные остатки можно отнести к стойким лиофильным коллоидам, не способным к самопроизвольной коагуляции асфальтенов. Устойчивость коллоидного состояния зависит от природы асфальтенов и их концентрации в сырье, от природы масел и смол и от концентрации их в остатке.

Агрегативная устойчивость высокомолекулярных коллоидных систем связана с явлением сольватации, а именно: с образованием на поверхности тонкодиспергированных асфальтенов, сольватных оболочек из смолистых веществ и полициклических ароматических углеводородов. От степени диспергации асфальтенов и от толщины сольватной оболочки зависит устойчивость систем.

При удалении из остатка парафиновой углеводородной фракции самопроизвольно начинается обратный процесс – пептизации асфальтенов. Таким образом, степень лиофильности и лиофобности системы возможно регулировать введением в остаток парафиновых углеводородов.

С позиции теории коагуляции легко объяснить многие закономерности процесса. Так, например, более низкую глубину деасфальтизации при применении в качестве растворителя пропан-пропиленовой фракции (вместо пропана) объясняют более высокой пептизирующей способностью по отношению к асфальтенам пропиленовой части растворителя. Переход в коагулят вместе с асфальтенами значительного количества масляных фракций объясняют высокой адсорбционной способностью асфальтенов. Известное повышение глубины деасфальтизации с повышением температуры объясняют усилением лиофобности асфальто-смолистых веществ (АСВ) по отношению к осаждающим растворителям.

С повышением температуры процесс области концентраций масло – асфальт, при которых жидкость разделяется на две фазы, расширяется.

Иными словами, при высоких разбавлениях пропаном сырья повышение температуры приводит к смещению фазового равновесия системы и способствует переходу масел из пропановой в асфальтовую фазу.

Однако некоторые закономерности пропановой деасфальтизации с позиции теории коагуляции необъяснимы. Практика показывает, что по мере увеличения кратности разбавления сырья растворителем глубина деасфальтизации вначале повышается, а затем падает. Несоответствие теории с практикой наблюдается и при переработке облегченного сырья. Легкие масляные фракции, согласно теории коагуляции, должны усиливать лиофобные свойства системы, а вместе с тем глубина деасфальтизации облегченного соляровыми фракциями сырья заметно понижается. Совершенно невозможно с позиции теории коагуляции объяснить механизм холодной фракционировки пропаном масляного сырья, лишенного асфальтенов.

Сторонники теории растворимости считают, что пропан – типичный неполярный растворитель и в силу своей химической природы предпочтительно растворяет в себе парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды с длинными алкильными цепями. Причем растворимость этих углеводородов в пропане увеличивается с понижением их молекулярной массы.

При исследовании процесса деасфальтизации нефтей и холодной фракционировки масла выявлено, что вначале экстрагируются преимущественно углеводороды парафинового и нафтенового классов с низкой молекулярной массой, а затем, при больших кратностях разбавления и при более низких температурах, ароматические углеводороды.

Механизм деасфальтизации основан на различии в растворимости отдельных углеводородов, отличающихся друг от друга химической природой и молекулярной массой. Оптимум разбавления сырья растворителем связан с различием избирательных свойств пропановых растворов.

При низком соотношении пропана к сырью, концентрация масляных компонентов в растворе достаточно высока и в какой-то мере определяет свойства раствора. За счет низкой избирательности в пропановую фазу переходят полициклические углеводороды и смолы. При низкой кратности растворителя к сырью, не достигается необходимая глубина деасфальтизации. При более высокой кратности концентрация масел в растворе снижается и пропановый раствор приобретает более высокую избирательность, что определяет более высокую глубину деасфальтизации. При высоких кратностях разбавления сырья пропаном за счет избыточного количества растворителя в раствор переходят труднорастворимые компоненты сырья, в первую очередь полициклические углеводороды. Глубина деасфальтизации вновь снижается.

Из всего этого следует принять, что пропан – растворитель с весьма специфическими особенностями. Пропан, несомненно, растворитель – коагулятор и вместе с тем избирательный растворитель. В отличие от полярных растворителей пропан снижает свои растворяющие свойства при повышенных температурах, а избирательность его в первую очередь проявляется по молекулярной массе углеводородов, и уже во вторую очередь по групповому химическому составу. Легко растворяя парафино-нафтеневые фракции масла, пропан значительно труднее растворяет смолистые соединения, а асфальтены не растворяет даже при низких температурах.

При температурах, близких к критической (96,85 °С), пропан почти полностью теряет свои растворяющие свойства и удерживает в растворе только самые низкомолекулярные парафино-нафтеневые углеводороды, но если при этой температуре повысить давление до критических параметров (4,2 МПа), то его растворяющая способность вновь резко возрастает.

Таким образом, в процессе деасфальтизации пропан выступает одновременно и как коагулятор АСВ и как избирательный растворитель по отношению к желательным компонентам масла. Разрушая коллоидную структуру гудрона, он тем самым вызывает коагуляцию асфальтенов и смол, а за счет своих растворяющих свойств переводит желательные компоненты масла в пропано-масляную фазу.

ВЫВОДЫ

Исследование технологии дает нам возможность комплексно проанализировать работы научно-исследовательских организаций по совершенствованию процесса деасфальтизации гудрона пропаном, способствует созданию новых технологических процессов производства, оптимизацию работ технологических установок, поиск и применение более эффективных растворителей и присадок. Строительство установок деасфальтизации нефтяных остатков с использованием растворителей, в частности пропана было бы особенно эффективно на нефтеперерабатывающих заводах, имеющих мощные комплексы каталитического крекинга, тем более что в настоящее время в связи с общим снижением объемов переработки нефти они испытывают недостаток сырья.

Нами рассмотрены теоретические основы процесса и влияние различных технологических факторов на процесс деасфальтизации. Таким образом, для получения оптимального выхода деасфальтизата с заданными свойствами необходимо подбирать оптимальный фракционный состав гудрона и режим его деасфальтизации; температурный режим колонны и способ подачи растворителя; соотношение растворителя к сырью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Ахметов, С. А.** Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа : Гилем, 2002. – 672 с.
- 2 **Подземельнов, Ф. И., Корчагина, Т. К.** Повышение эффективности работы установки деасфальтизации гудрона пропаном / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6–2. – с. 224–225
- 3 **Султанов, Ф. М.** Энергосберегающая технология сольвентной деасфальтизации нефтяных остатков: диссертация доктора технических наук / Ф. М. Султанов. – Уфа : УГНТУ, 2010. – 214 с.
- 4 **Власенко, В. Е.** Установка деасфальтизации масел / В. Е. Власенко – М. : Химия, 1975. – 36 с.
- 5 **Хайрутдинов, И. Р., Султанов, Ф. М., Теляшев, Э. Г.** Современные процессы сольвентной деасфальтизации нефтяных остатков / И. Р. Хайрутдинов, Ф. М. Султанов, Э. Г. Теляшев. – Уфа : изд-во ГУП ИНХП РБ, 2011. – 208 с.
- 6 **Грудников, И. Б.** Производство нефтяных битумов / И. Б. Грудников. – М. : Химия, 1983. – 192 с.
- 7 **Бондаренко, Б. И.** Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа / Б. И. Бондаренко. – М. : Химия, 1983. – 128 с.
- 8 **Грудников, И. Б.** Производство нефтяных битумов / И. Б. Грудников. – М. : Химия, 1983. – 192 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

М. А. Елубай¹, С. О. Оспанбек²

Сұйық пропанмен гудрондарды деасфальтсыздандыру үдерісін зерттеу

^{1,2}Химиялық технологиялар және жаратылыстану факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

M. A. Elubay¹, S. O. Ospanbek²

Research process of tars deasphaltizing with liquid propane

^{1,2}Faculty of Chemical Technology and Natural Sciences,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Қазіргі уақытта терең өңдеуге арналған қалдық шикізатты дайындау, энергияны үнемдеу және қайта өңдеу кезінде алынған барлық өнімдерді ұтымды пайдалану мәселелері өзекті болып табылады.

Бұл мақалада қосымша жартылай өнім – асфальтсыздандырғышты алуға, мұнай өңдеу тереңдігін арттыруға, тұтастай алғанда мұнай өңдеу зауытының тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін, асфальтсыздандыру үдерісін дамыту, сұйылтылған еріткішті – сұйық пропанды пайдалана отырып, асфальтсыздандырғыш мен асфальттау майын бөлуді зерттеу перспективалары қаралған.

Now more and more sharply there are problems of preparation of residual raw materials for deep processing, economy of energy resources, rational utilization of all products received when processing.

In this article the prospects of development of processes of deasphaltizing, a research of process of allocation of deasfaltizat and asfaltizat of oil tars by means of solvent – liquid propane are considered that gives the chance of receiving additional semi-products – deasfaltizat, increase in depth of oil refining, increase in overall performance of oil refinery in general.

ГРНТИ 61.51.15

М. А. Елубай¹, С. О. Оспанбек²

¹к.х.н, доцент, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИИ ПО ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ИЛИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СХЕМАМ

В настоящее время все более остро встают проблемы подготовки остаточного сырья к глубокой переработке, экономии энергоресурсов, рациональной утилизации всех продуктов, получаемых при переработке. В данной статье рассматриваются перспективы развития процессов деасфальтизации, исследовании процесса выделения деасфальтизатов и асфальтизатов из нефтяных гудронов с помощью растворителя – жидкого пропана, что дает возможность получения дополнительных полупродуктов – деасфальтизатов, повышение глубины переработки нефти, повышение эффективности работы нефтеперерабатывающего завода в целом.

Ключевые слова: деасфальтизация, гудрон, глубокая переработка нефти.

ВВЕДЕНИЕ

Деасфальтизация, направленная на выделение остаточных масляных фракций нефти, осуществляется исключительно с использованием пропана, который и у нас, и за рубежом повсеместно используется для этой цели.

Преимуществами пропана являются возможность отбора оптимального количества масляных фракций достаточно хорошего качества и проведение процесса при умеренных температурах и давлениях. Не последнюю роль играет также дешевизна и доступность растворителя.

В свою очередь, в процессах деасфальтизации остатков нефти, нацеленных на максимальное извлечение углеводородного сырья для глубокой переработки, выбор растворителя определяется с учётом природы сырья и необходимости обеспечения максимального выхода целевой

фракции – деасфальтизата, соответствующего требованиям к сырью каталитического крекинга.

При подготовке углеводородного сырья к глубокой переработке чаще всего используют следующие растворители: бутан, пентан, в некоторых случаях смеси пропана и бутана, бутана и пентана, а также лёгкий бензин.

В России процесс деасфальтизации нефтяных остатков используется в промышленных масштабах для выделения остаточных масляных фракций. Технология процесса была разработана ещё в 50-60-х годах и не претерпела существенных изменений до настоящего времени.

Всего на НПЗ России насчитывается 24 установки деасфальтизации гудрона. В Казахстане в настоящее время нет установок деасфальтизации гудронов.

Деасфальтизация остатка нефти смесью бутана и пентана (процесс «Добен») используется в полупромышленных масштабах только на НовоУфимском НПЗ для выработки концентрата асфальтенов.

За рубежом процессы деасфальтизации пропаном и более тяжелыми парафиновыми углеводородами используются намного шире. В качестве прогрессивного технологического оформления в последние годы ряд иностранных фирм рекламируют варианты процесса деасфальтизации, включающие стадию регенерации растворителя в сверхкритических условиях.

Проведение процессов деасфальтизации по одноступенчатой или двухступенчатой схемам зависит от качества получаемого гудрона и пропана.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одноступенчатая деасфальтизация гудронов жидким пропаном

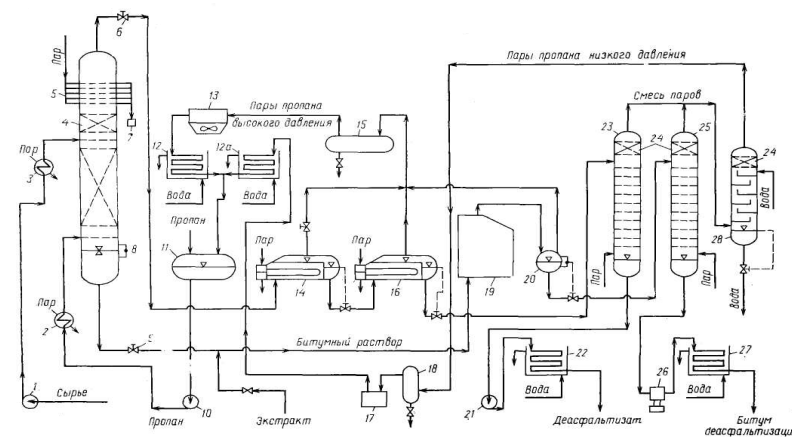
При одноступенчатой деасфальтизации процесс протекает в одну ступень и целевым продуктом является деасфальтизат, в котором концентрация парафино-нафтеновых углеводородов значительно выше, чем в сырье. Пропан растворяет предпочтительно парафиновые, парафино-нафтеновые и легкие ароматические углеводороды, присутствующие в гудроне или концентрате. Асфальтены, смолы и полициклические ароматические углеводороды концентрируются в побочном продукте – битуме деасфальтизации, который отводится в смеси с пропаном (30–35 % (вес.) на смесь) с низа деасфальтизационной колонны. Показатели качества деасфальтизатов одноступенчатой деасфальтизации гудронов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества деасфальтизата

Показатель качества	Величина
Средняя молекулярная масса, единица	500–650
Плотность при 20 °С, кг/м ³	895–930
Вязкость при 100 °С, мм ² /с	18–26
Коксуемость по Конрадсону, % (масс.):	
– при производстве масляного сырья	0,8–1,3 (реже до 1,6)
– при производстве сырья для крекинга	2–3 (и более)

Содержание металлов (никеля и ванадия) в деасфальтизате значительно меньше, чем в сырье; глубокого же обессеривания не наблюдается.

Установка включает следующие основные секции: деасфальтизации, регенерации пропана при высоком давлении (от 2,5 до 1,8 МПа), регенерации пропана при низком давлении (несколько превышающем атмосферное). Технологическая схема установки представлена на рисунке 1.



- 1,10,21,26 – насосы; 2,3 – паровые подогреватели; 4 – колонна деасфальтизации; 5 – встроенный подогреватель; 6 – регулятор давления;
- 7 – конденсатоотводчик; 8 – указатель уровня; 9 – регулятор расхода;
- 11 – приемник; 12, 12а – водяные конденсаторы-холодильники;
- 14,16 – испарители; 15 – каплеотбойник; 17 – компрессор;
- 18 – каплеуловитель; 19 – трубчатая печь; 20 – сепаратор;
- 22,27 – водяные холодильники; 23,25 – отпарные колонны;
- 24 – каплеотбойник насадочного типа; 28 – конденсатор смешения

Рисунок 1 – Технологическая схема установки одноступенчатой деасфальтизации гудрона жидким пропаном

Остаточное сырье (гудрон или концентрат) насосом 1 подается через паровой подогреватель 3 в среднюю часть деасфальтизационной колонны 4. На некоторых установках в сырье перед входом его в подогреватель 3 вводят пропан (умеренное количество), причем во избежание гидравлического удара используют смеситель.

Сжиженный пропан, забираемый из приемника 11 насосом 10, направляется через паровой подогреватель 2 в нижнюю зону колонны 4. В средней части колонны пропан в восходящем потоке контактирует с опускающимися более нагретым сырьем и внутренним рециркулятом. В зоне контактирования расположены тарелки жалюзийного или насадочного типа. Для равномерного распределения по поперечному сечению колонны сырье и пропан вводятся в нее через распределители трубчатой конструкции с большим числом отверстий, обращенных вниз – для сырья и вверх – для пропана.

Раствор деасфальтизата до выхода из колонны 4 нагревается в верхнем встроенном подогревателе 5 и далее отстаивается в самой верхней зоне колонны 4 от выделившихся при нагреве тяжелых фракций, так называемых «смола».

Пройдя регулятор давления 6, раствор деасфальтизата поступает в испаритель 14, обогреваемый водяным паром низкого давления, а затем в испаритель 16, обогреваемый паром повышенного давления.

Водяной пар вводится в трубные пучки испарителей 14 и 16. Температура кипящего раствора в первом из них менее высокая, чем во втором. По пути из колонны 4 в испаритель 14 часть пропана переходит в парообразное состояние вследствие вскипания при снижении давления примерно с 4,0 до 2,4 МПа.

Выходящий из испарителя 16 раствор деасфальтизата, содержащий относительно небольшое количество пропана (обычно не более 6 % (масс.)), обрабатывается в отпарной колонне 23 открытым водяным паром. С верха этой колонны уходит смесь пропановых и водяных паров, а с низа – готовый деасфальтизат, направляемый насосом 21 через холодильник 22 в резервуар. Полноту удаления пропана контролируют по температуре вспышки деасфальтизата.

Битумный раствор, выходящий из деасфальтизационной колонны снизу, непрерывно поступает через регулятор расхода 9 в змеевик печи 19. На выходе из этого змеевика значительная часть пропана находится в парообразном состоянии. Пары отделяются от жидкости в горизонтальном сепараторе 20, работающем под тем же давлением, что и испаритель 16. Остатки пропана отпариваются открытым водяным паром в битумной отпарной колонне 25. Битум деасфальтизации откачивается с низа этой колонны поршневым насосом 26, за которым следует холодильник 27.

Пары пропана высокого давления по выходе из аппаратов 14, 16 и 20 поступают через каплеотбойник 15 в конденсаторы-холодильники 13 и 12. Сжиженный пропан собирается в приемнике 11. В конденсаторах-холодильниках 13 и 12 пары пропана конденсируются под давлением, близком к рабочему давлению в аппаратах 16 и 20, т.е. при 1,7 – 1,8 МПа. Этим достигается необходимый температурный перепад между теплоотдающей и охлаждающей средами без применения компрессора. На некоторых установках пары пропана, выходящие из сепаратора 20 и освобожденные от увлекаемых капель битума, являются теплоносителем для одного из испарителей.

Пары пропана низкого давления, выходящие в смеси с водяным паром из отпарных колонн 23 и 25, освобождаются от водяного пара в конденсаторе смешения 28 и затем, пройдя каплеуловитель 18 сжимаются компрессором 17 и направляются в конденсатор-холодильник 12а. Потери пропана восполняются подачей его извне в приемник 11. Если пропан вводится в деасфальтизационную колонну через два внутренних распределителя, то пропан направляемый в расположенный выше распределитель, предварительно нагревают до более высокой температуры (например, до 70 °С) по сравнению с пропаном, подаваемым через нижний распределитель (на схеме показан только один распределитель пропана).

На некоторых установках битумный раствор до входа в змеевик печи 19 подогревают в теплообменнике. Трубчатая печь ограждена противопожарной стеной. Во избежание прогара труб змеевиков печи очень важно обеспечить непрерывное поступление в них достаточного количества раствора или смеси его с экстрактом, добавленным для уменьшения вязкости битума деасфальтизации. Расход топлива зависит от его теплотворной способности, качества подаваемого сырья, глубины его деасфальтизации и других факторов и составляет в среднем 15–30 кг на 1 т гудрона.

Для уменьшения уноса парами мелких капель жидкости в верхних частях аппаратов 23, 25 и 28 расположены отбойные тарелки 24 насадочного типа (слой из колец Рашига).

На установках деасфальтизации довольно большой расход водяного пара, причем предусмотрена проверка чистоты его конденсата, поскольку при недостаточной плотности соединений в испарителях или подогревателях растворы, находясь под более высоким давлением, могут проникать в зоны конденсации водяного пара.

Технологический режим установки при переработке сернистого смолистого гудрона представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Технологический режим одноступенчатой деасфальтизации гудронов

Показатель технологического режима	Величина
Температура, °С	
– верха колонны деасфальтизации	75-85
– низа колонны деасфальтизации	50-65
– испаритель 14	60-85
– испаритель 16	160-170
Давление избыточное, МПа:	
– в колонне деасфальтизации	3,7-4,4
– испаритель 14	2,2-2,4
– испаритель 16	1,7-2,0
Кратность пропана к сырью (по объему)	(5-8):1

Удельный расход технического пропана на установках одноступенчатой деасфальтизации равен 2–4 кг на 1 т перерабатываемого гудрона.

Преимуществами одноступенчатой деасфальтизации гудронов являются:

- в топке печи меньший расход топлива;
- минимальные потери пропана;
- меньше энергозатраты;
- низкая металлоемкость самой установки.

Однако, в условиях выбора наиболее оптимальной схемы переработки гудрона, можно выявить следующие недостатки:

- низкий выход деасфальтизата;
- низкая глубина выделения смолистых веществ.

Недостатки одноступенчатой деасфальтизации можно снизить за счет подбора наиболее оптимального температурного режима в экстракционной колонне, а также недостаточное удаление смолистых веществ может быть реализовано в последующей селективной очистке, но это увеличивает затраты на дополнительную установку очистки и повышает металлоемкость процесса.

Двухступенчатая деасфальтизация гудронов жидким пропаном

Двухступенчатая деасфальтизация гудронов жидким пропаном предназначена для получения из остаточного сырья двух деасфальтизатов разной вязкости. Получаемые в первой и второй ступенях деасфальтизаты I и II далее перерабатывают раздельно или в смеси в остаточные масла.

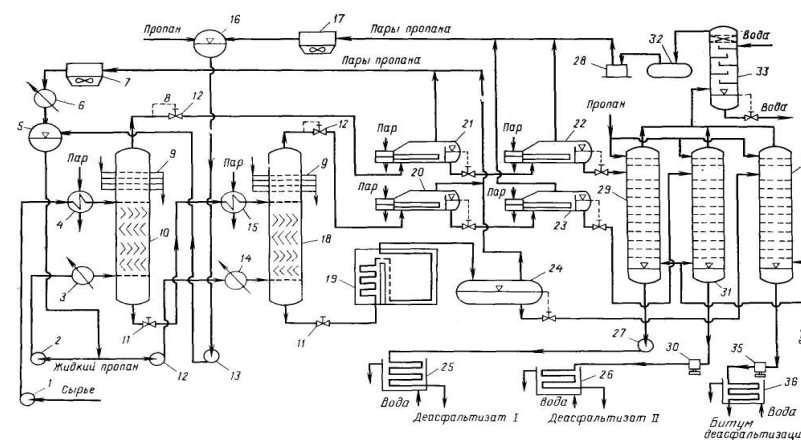
В результате перехода от одноступенчатой деасфальтизации к двухступенчатой выход деасфальтизата при переработке гудронов

увеличивается на 13–45 % (отн.). Прирост зависит главным образом от качества сырья и предъявляемых к продуктам требований.

На двухступенчатой установке битумный раствор из первой колонны деасфальтизации поступает через подогреватель во вторую колонну, в которую подается дополнительно жидкий пропан. Растворы деасфальтизата II и битума II выводятся соответственно из второй колонны сверху и снизу.

Деасфальтизаты I ступени являются сырьем для производства остаточных масел обычно вязкостью 18–23 мм²/с (при 100 °С), а деасфальтизаты II ступени – значительно более вязких масел, например вязкостью 30–45 мм²/с (при 100 °С). В деасфальтизатах II содержится больше ароматических углеводородов; они также имеют более высокие плотность и коксуюемость. Битум деасфальтизации – побочный продукт двухступенчатого процесса – имеет высокую температуру размягчения; его можно использовать в качестве компонента сырья для производства нефтяных битумов твердых марок.

Технологическая схема установки представлена на рисунке 2.



- 1,2,12,13,27,30,35 – насосы; 3,6,14,25,26,36 – холодильники;
- 4,15 – подогреватели; 5,16 – приемники; 7,17 – аппараты воздушного охлаждения; 8 – редукционный клапан; 9 – паровой встроенный подогреватель; 10,18 – колонны; 11 – регулятор расхода; 19 – трубчатая печь; 20,21,22,23 – испарители; 24 – сепаратор; 28 – компрессор;
- 29,31,34 – отпарные колонны; 32 – каплеотделитель;
- 33 – конденсатор смешения

Рисунок 2. – Технологическая схема установки двухступенчатой деасфальтизации гудронов жидким пропаном

Главные секции установки следующие (рисунок 3): деасфальтизация I ступени (колонна 10 со вспомогательным оборудованием); деасфальтизация II ступени (колонна 18 и вспомогательные аппараты); регенерация пропана при высоком давлении из раствора деасфальтизата I, из раствора деасфальтизата II, из битумного раствора II (три секции); регенерация пропана при низком давлении из обедненных растворов, выходящих из предыдущих секций регенерации.

Сырьем I ступени является гудрон или концентрат, а исходной смесью для II ступени – битумный раствор, переходящий под давлением из первой колонны снизу во вторую. На некоторых установках деасфальтизацию сырья проводят в II ступени в двух параллельно действующих колоннах, из которых битумные растворы поступают в одну общую колонну II ступени.

Сырье насосом 1 подается через паровой подогреватель 4 в колонну деасфальтизации I ступени 10. В нижнюю зону этой же колонны вводится через холодильник 3 жидкий пропан, забираемый насосом 2 из приемника 5. Пройдя верхний встроенный подогреватель 9 и верхнюю отстойную зону, раствор деасфальтизата I после снижения давления (примерно с 4,2 до 2,7 МПа) поступает в секцию регенерации пропана при высоком давлении. Требуемое рабочее давление в колонне 10 поддерживается с помощью редукционного клапана 8; колонна оборудована тарелками жалюзийного типа.

Битумный раствор I выводится с низа колонны 10, подогревается водяным паром в аппарате 15 и вводится в колонну 18 деасфальтизации II ступени.

В этой колонне процесс осуществляется при меньшем давлении и более низкой температуре, чем в колонне 10: за счет разности давлений, которая равна 0,4–0,7 МПа, битумный раствор I перемещается из колонны 10 в колонну 18. Пропан в колонну 18 подается насосом 12 через холодильник 14. Колонна 18 по конструкции подобна колонне 10. Кратность пропана к сырью для второй ступени выбирается более высокой, чем для первой. Из раствора деасфальтизата I основное количество пропана выделяется в последовательно соединенных испарителях 21 и 22, а из раствора деасфальтизата II – в испарителях 20 и 23. В испарителях 20 и 21, работающих при сравнительно умеренных температурах, в качестве теплоносителя обычно используется водяной пар давлением около 0,6 МПа, а в высокотемпературных испарителях 22 и 23 – водяной пар давлением 1,0 МПа. Деасфальтизаты I и II практически полностью освобождаются от пропана соответственно в отпарных колоннах 29 и 31 тарельчатого типа, где стекающие жидкости продуваются встречным потоком водяного пара. Далее оба деасфальтизата направляются насосами 27 и 30 соответственно через холодильники 25 и 26 в резервуары.

Выходящие из испарителей 20 и 21 пары пропана высокого давления (2,7–2,8 МПа) конденсируются в аппарате воздушного охлаждения 7; конденсат поступает через кожухотрубный водяной холодильник 6 в приемник 5. Пары, выделенные в испарителях 22 и 23 (работающих при менее высоком давлении – около 1,8 МПа), конденсируются в аппарате воздушного охлаждения 17; образовавшийся здесь конденсат стекает в приемник 16. Для восполнения потерь в этот приемник подается технический пропан со стороны. Из приемника 16 пропан подается в приемник 5 насосом 13.

Битумный раствор II ступени, пройдя регулятор расхода 11, нагревается в трубчатой печи 19; испарившийся пропан отделяется от жидкости в сепараторе 24. Уходящие отсюда пары далее поступают в конденсатор-холодильник 7. Обедненный битумный раствор по выходе из сепаратора 24 продувается водяным паром в отпарной колонне 34 (также тарельчатого типа).

Смеси пропановых и водяных паров, уходящие при небольшом избыточном давлении из отпарных колонн 29, 31 и 34, поступают в общий конденсатор-холодильник смешения 33 с перегородками. Здесь при контакте с холодной водой водяные пары конденсируются, а пары пропана низкого давления, пройдя каплеотделитель 32, сжимаются компрессором 28 до давления 1,7–1,8 МПа. Под этим давлением пары пропана конденсируются в конденсаторе-холодильнике 17.

Освобожденный от растворителя битум деасфальтизации по выходе из отпарной колонны направляется насосом 35 через холодильник 36 в резервуар. Во избежание заноса капель битума деасфальтизации в конденсатор-холодильник 7 выходящие из сепаратора 24 пары пропана обычно пропускаются через горизонтальный цилиндрический каплеотбойник. Для удаления сероводорода часть паров пропана проходит через колонну, заполненную водным раствором щелочи (каплеотбойник и колонна щелочной очистки на схеме не показаны).

Рабочие температуры и давления в колоннах и испарителях приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Температуры и давления в колоннах деасфальтизации и испарителях

Аппарат	Давление, МПа	Температура, °С	
		верха	низа
Деасфальтизационные колонны:			
– I ступень	4,2–4,6	80/88	50/65
– II ступень	3,6–4,2	70/82	45/60

Испарители 20 и 21	2,7–2,8	85	85
Испарители 22 и 23	1,8	150	150
Сепаратор 24	2,7	200/250	200/250

В качестве примера в таблицах 5, 6 приведены условия и результаты двухступенчатой деасфальтизации пропаном гудрона самотлорской нефти [групповой состав этого гудрона: содержание асфальтенов 7,7 % (масс.), смол 18,8 % (масс.) и углеводородных компонентов 73,5 % (масс.)].

Таблица 4 – Характеристика сырья и деасфальтизатов

Показатель	Гудрон	Деасфальтизат	
		I	II
Плотность при 20 °С, кг/м ³	983–1020	926	975
Вязкость при 100 °С, мм ² /с	21–22	21–22	60–80
Коксуемость по Конрадсону, % (масс.):	10,4–11,6	1,0–1,1	3,2–3,4
Содержание серы, % (масс.)	2,18	1,7	2,0
Температура размягчения по КиШ, °С	менее 24	57–2	52

Таблица 5 – Условия деасфальтизации

Показатель	I ступень	II ступень
Кратность пропана к сырью (по объему)	8:1	10:1
Температура в колонне деасфальтизации, °С:		
– верх	75	70
– низ	58	50
Содержание СЗН8 в техническом пропане, % (масс.)	95,6	95,6
Выход деасфальтизата на гудрон, % (масс.)	43,6	6,0

Примерная характеристика сырья, выходы и качество деасфальтизатов, полученных двухступенчатой деасфальтизацией жидким пропаном концентрата нефти и гудрона, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика сырья, выходы и качество деасфальтизатов

Показатель	Концентрат		Гудрон	
	I ступень	II ступень	I ступень	II ступень
Режим работы колонны деасфальтизации				
Объемное соотношение пропан:сырье	10:1	10:1	7:1	6:1
Температура, °С				
– верх	85	70	87	82
– середины	70	60	-	-
– низа	60	50	63	60
Давление, МПа	-	-	4,3	3,6
Характеристика деасфальтизата				
Плотность при 20 °С, кг/м ³	915	925	-	-
Вязкость при 100 °С, мм ² /с	20,0	46,9	20–23	30–55
Коксуемость по Конрадсону, % (масс.):	0,6	2,2	1,1–1,3	1,5–2,2
Выход на сырье, % (масс.)	72,5	13,6	28,4	10,0
Характеристика битума деасфальтизации				
Температура размягчения по КиШ, °С	-	-	45–55	66–75
Выход на сырье, % (масс.)	-	-	71,6	61,6

Деасфальтизат II может служить сырьем для выработки компонента высоковязкого остаточного масла, например типа П-28.

К недостаткам двухступенчатого процесса можно отнести:

- металлоемкость оборудования;
- дополнительный расход пропана на II ступень деасфальтизации;
- большой расход энергетических и топливных ресурсов.

Преимуществами двухступенчатой деасфальтизации гудронов являются:

- увеличение суммарного выхода деасфальтизата (до 45 %);
- более высокая глубина переработки нефти.

ВЫВОДЫ

Для извлечения масляных компонентов из остатков используется процесс деасфальтизации низкомолекулярными алканами (пропаном). Процесс деасфальтизации используют в большинстве случаев для облагораживания остаточных видов сырья (мазуты, гудроны). В результате получают дистиллят (деасфальтизат) и остаток (асфальтит).

Проведенный анализ технологических схем процесса деасфальтизации гудрона жидким пропаном позволил нам остановиться на двухступенчатой схеме, которая позволяет подготовить остаточное сырье к глубокой переработке, рационально использовать все нефтепродукты и обеспечить высокую эффективность нефтеперерабатывающего комплекса в целом

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ахметов, С. А.** Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

2 **Подземельнов, Ф. И., Корчагина, Т. К.** Повышение эффективности работы установки деасфальтизации гудрона пропаном / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6–2. – с. 224–225.

3 **Султанов, Ф. М.** Энергосберегающая технология сольвентной деасфальтизации нефтяных остатков: диссертация доктора технических наук / Ф. М. Султанов. – Уфа: УГНТУ, 2010. – 214 с.

4 **Власенко, В. Е.** Установка деасфальтизации масел / В. Е. Власенко – М. : Химия, 1975. – 36 с.

5 **Хайрутдинов, И. Р., Султанов, Ф. М., Теляшев, Э. Г.** Современные процессы сольвентной деасфальтизации нефтяных остатков / И. Р. Хайрутдинов, Ф. М. Султанов, Э. Г. Теляшев. – Уфа : изд-во ГУП ИНХП РБ, 2011. – 208 с.

6 **Грудников, И. Б.** Производство нефтяных битумов / И. Б. Грудников. – М. : Химия, 1983. – 192 с.

7 **Бондаренко, Б. И.** Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа / Б. И. Бондаренко. – М. : Химия, 1983. – 128 с.

8 **Грудников, И. Б.** Производство нефтяных битумов / И. Б. Грудников. – М. : Химия, 1983. – 192 с.

9 **Золотарев, П. А., Ольков, П. Л., Горелов, Ю. С.** Проектирование установок деасфальтизации / П. А. Золотарев, П. Л. Ольков, Ю. С. Горелов. – Уфа : Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1982. – 85 с.

10 **Игинская, Н. И., Кузнецов, Н. В.** Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям / Н. И. Игинская, Н. В. Кузнецов. – М. : Колос, 1982 г. – 208 с.

11 **Сюняев, З. И., Сюняев, Р. З., Сафиева, Р. З.** Нефтяные дисперсные системы / З. И. Сюняев, Р. З. Сюняев, Сафиева Р. З. – М. : Химия, 1990. – 226 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

М. А. Елубай¹, С. О. Оспанбек²

Бір сатылы немесе екі сатылы схемалар бойынша деасфальттау процестерін зерттеу

^{1,2}Химиялық технологиялар және жаратылыстану факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

M. A. Elubay¹, S. O. Ospanbek²

Study of deasphalting processes in one-stage or two-stage schemes

^{1,2}Faculty of Chemical Technology and Natural Sciences,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Қазіргі уақытта терең оңдеуге арналған қалдық шикізатты дайындау, энергияны үнемдеу және қайта оңдеу кезінде алынған барлық өнімдерді ұтымды пайдалану мәселелері өзекті болып табылады.

Бұл мақалада қосымша жартылай өнім – асфальтсыздандырығышты алуға, мұнай оңдеу тереңдігін арттыруға, тұтастай алғанда мұнай оңдеу зауытының тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін, асфальтсыздандыру үдерісін дамыту, сұйылтылған еріткішті – сұйық пропанды пайдалана отырып, асфальтсыздандырығыш мен асфальттау майын болуді зерттеу перспективалары қаралған.

Now more and more sharply there are problems of preparation of residual raw materials for deep processing, economy of energy resources, rational utilization of all products received when processing.

In this article the prospects of development of processes of deasphalting, a research of process of allocation of deasfaltizat and asfaltizat of oil tars by means of solvent – liquid propane are considered that gives the chance of receiving additional semi-products – deasfaltizat, increase in depth of oil refining, increase in overall performance of oil refinery in general.

**Д. А. Есенғалиев¹, С. О. Байсанов²,
А. З. Исагулов³, А. С. Байсанов⁴**

¹докторант, Машиностроительный факультет, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан;

²д.т.н., профессор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан;

³д.т.н., профессор, Машиностроительный факультет, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан;

⁴к.т.н., ассоц. профессор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан
e-mail: dauralga@mail.ru

ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «УШКАТЫН III»

Представлены результаты исследования методами петрография, энергодисперсионной спектроскопии первичных марганцевых руд месторождения «Ушкатын III». Показано, что образцы руд месторождения «Ушкатын III» характеризуется довольно большим структурным разнообразием и в целом несложным минералогическим составом. Рудные минералы представлены гаусманитом, родохрозитом, браунитом и гематитом, а нерудный минерал представлен кальцитом, которая обычно вводится в шихту в виде известии или известняка при производстве марганцевых ферросплавов.

Ключевые слова: марганцевый концентрат, рентгенофазовый анализ, петрографическое исследование, энергодисперсионный анализ, рудный минерал, полированные шлифы.

ВВЕДЕНИЕ

Производства марганцевых ферросплавов преимущественно выплавляет из богатых марганцевых концентратов. Потребность промышленности в богатых марганцевых концентратов уже сейчас обеспечивается с трудом. Для удовлетворения растущей потребности металлургии в марганцевых рудах

необходимо вовлекать в производства марганцевых ферросплавов бедные руды и руды вновь открываемых месторождений. Большой интерес вызывает уникальное по качеству месторождение марганцевых руд Ушкатын III (Карагандинская область), представленное в основном высоким содержанием марганца при одновременном низком содержании фосфора и значительном количестве окиси кальция в марганцевых рудах позволяет расценивать это месторождение как источник высококачественного сырья для производства марганцевых сплавов. В этой связи для получения количественно-минералогического и химического состава первичных марганцевых руд месторождения «Ушкатын III» нами проведены рентгенофазовый и минерало-петрографический, спектроскопический анализ концентратов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Изучение минерального состава руд для решения технологических вопросов предусматривает идентификацию всех минералов пробы (главных, второстепенных, жильных и т. д.) с количественной оценкой их соотношений и характеристикой взаимных сростаний комплексом методов: оптико-минералогическим, оптико-петрографическим, рентгенографическим и фазовым химическим [1,2,3].

Для минерало-петрографических исследований проб требовалось тщательная предварительная подготовка. Предварительная подготовка каждой пробы включала операции усреднения, сокращения и отбора представительных проб на минералогический, полный химический и рентгенофазовый анализы.

Так в представительной пробе марганцевой руды месторождения «Ушкатын III по данным рентгенофазового анализа, проведенного на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2,0 (Fe – излучение), обнаружены следующие минералы: браунит ($Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$), биксбиит ($(Mn,Fe)_2O_3$), кальцит ($CaCO_3$), гематит ($\alpha-Fe_2O_3$) (рисунок 1).

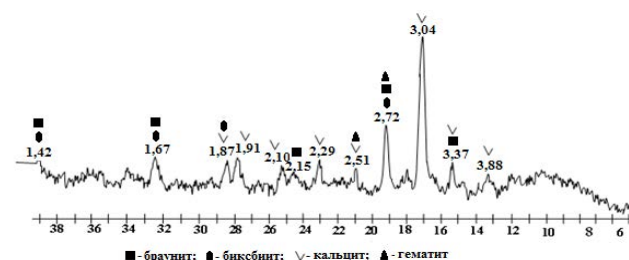
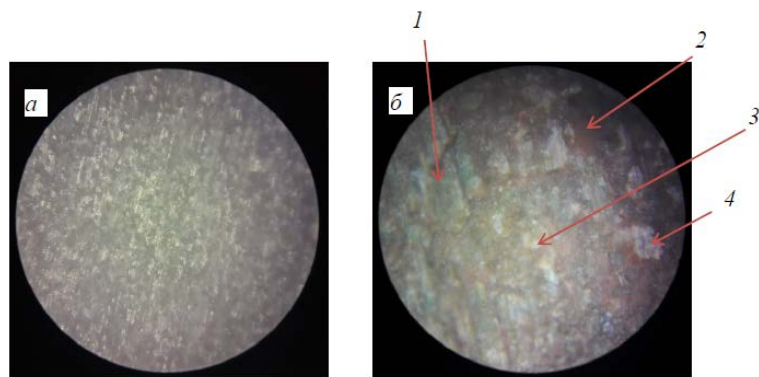


Рисунок 1 – Рентгенограмма первичной марганцевой руды месторождения Ушкатын III

В ходе работ были изучены текстурно-структурные особенности минералогического состава рудных и нерудных составляющих. Минералого-петрографический анализ проведен с помощью портативного металлургического микроскопа модели «NYMCS-605».

В результате микроскопического анализа исследуемой марганцевой руды установлено, что проба представлена остроугольными обломками размером 5,0 мм. Обломки неоднородны как по текстуре, так и по структуре. В отдельных обломках наблюдается тонкая ритмическая слоистость, отмечаются участки ссажистой и колломорфной текстурой. В некоторых обломках встречаются желваки (включения), заполненные кальцитом. Цветобломков неоднороден, от тёмно-коричневого до чёрного. В основном текстура близка к массивной (рисунок 2).



а – увеличение x100, б – увеличение x500
1 – гаусманит; 2 – родохрозит; 3 – браунит; 4 – кальцит;

Рисунок 2 – Микроструктура участков поверхности шлифов руды

Для проведения микроскопических исследований из представленных проб были изготовлены полированные шлифы. Микроскопическими исследованиями установлено, что пробы первичных марганцевых руд представляют гаусманитовую руду (Mn₃O₄) полосчатого строения благодаря чередованию блестящих тёмных прослоев плотного мелкокристаллического гаусманита и более светлых нерудных полос, состоящих из карбоната с небольшим количеством хальцедона (SiO₂) и местами кристаллическим тефроитом (Mn₂SiO₄).

Карбонат представлен преимущественно мелкокристаллическим кальцитом, присутствует родохрозит (MnCO₃), в том числе местами с баритами (BaCO₃) и небольшими количеством тефроита. В некоторых

участках пробы гаусманит пропитана полевошпатовой породой, сильно измененная, серицитизированная, в значительной мере замещенная карбонатом, хальцедоном и рудным минералом. Браунит в шлифе наблюдается в виде мелкокристаллических образований, чаще всего в сростании кальцитом, образуя карбонатную породу.

Для детального изучения образца проводили исследования на количественный анализ, который осуществлялось с помощью энергодисперсионным детектором (ESD) Philips XL 20. Суть процесса заключалось в следующем: задаётся несколько точек (или участок), в нашем случае для исследования выбиралось 4 участка согласно рисунку 2 и затем программа набирала спектры с различных площадей. Все набранные спектры автоматически сохраняются и после проверки элементов определялись количественные составы в каждой выбранной точке (таблица 1).

Как показывают результаты, основные элементы состоит из: Mn, Ca, O, Fe.

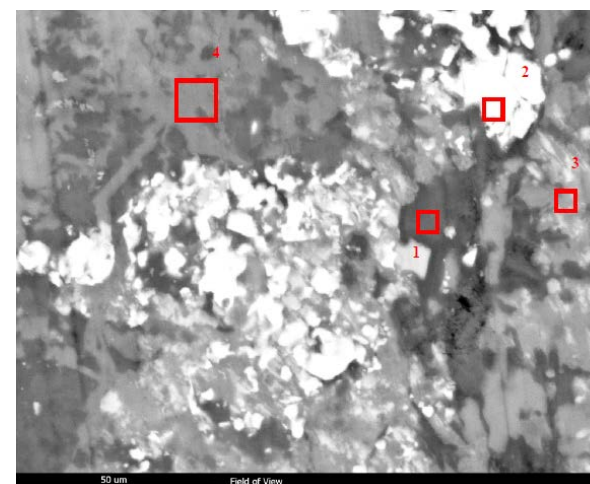


Рисунок 3 – Фрагмент образца после энергодисперсионного анализа

Таблица 1 – Количественный состав участков образца

		Элементы, %								
		C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe
Участок 1	Атомарный состав, %	0	37,2	3,4	12,6	11,9	15,8	0	19,1	0
	Вещественный состав, %	0	53,5	3,4	12,0	10,2	12,9	0	8,0	0

Участок 2	Атомарный состав, %	1,4	21,5	0	0	0	0,5	1,1	29,7	45,8
	Вещественный состав, %	4,0	46,9	0	0	0	0,6	0,9	18,8	28,6
Участок 3	Атомарный состав, %	2,7	33,4	1,5	1,5	1,4	16,0	3,1	40,3	0
	Вещественный состав, %	5,8	53,8	1,7	1,5	1,4	14,7	1,9	18,9	0
Участок 4	Атомарный состав, %	8,5	36,8	5,6	0	0	1,5	15,0	32,5	0
	Вещественный состав, %	16,5	53,4	5,7	0	0	1,3	8,7	13,8	0

ВЫВОДЫ

Результаты петрографического, спектроскопического анализиров микроструктуры первичных марганцевых руд месторождения «Ушкатын III» показывает целесообразность для дальнейшего передела на средне и низкоуглеродистых сортов ферромарганца.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Григорьев, В. М., Борисенко, Л. Ф., Кравченко, Г. Г. и др. Справочник по рудам чёрных металлов для геологов. М.: Недра. 1985. 287 с.

2 Ожогина, Е. Г. Минералогические исследования как основа априорной оценки технологических свойств марганцевых руд и оптимизации разрабатываемых технологических схем // Материалы IV конгресса обогатителей стран СНГ. – М., 2003. – том I. – С. 57–58.

3 Ожогина, Е. Г. Технологическая минералогия карбонатных марганцевых руд // Обогащение руд. – М., 2004, № 1. – С. 38–42.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Д. А. Есенғалиев¹, С. О. Байсанов², А. З. Исағұлов³, А. С. Байсанов⁴

«Ушкатын III» бастапқы марганец кендерін петрографиялық зерттеу

^{1,3}Машина жасау факультеті,
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,
Қарағанды қ, 100027, Қазақстан Республикасы;
^{2,4}Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты,
Қарағанды қ, 100027, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

D. A. Yessengaliyev¹, S. O. Baisanov², A. Z. Issagulov³, A. S. Baisanov⁴

Petrographic study of primary manganese ore deposit «Ushkatyn III»

^{1,3}Faculty of Mechanical Engineering,
Karaganda State Technical University,
Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan;
^{2,4}Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute.
Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада «Ушкатын III» кенорынының бастапқы марганец кендерін петрография, энергодисперсті спектроскопия әдістерімен зерттеудің нәтижелері көрсетілген. «Ушкатын III» кендері кең көлеміндегі біртекті құрылымнан, жалпылай алғанда қарапайым минералогиялық құрамнан түзілген. Кенді минералдар: гаусманит, родохрозит, браунит және гематит түрінде келсе, ал кенсіз минерал қатарына кальцит жатады. Ол өз кезегінде марганец ферроқорытпалар өндірісінде қолданылатын шикіқұрам материалдармен енетін әк және әктас құрамында болады.

The results of studies are presented by using the methods of petrography and energy dispersive spectroscopy of manganese ores from Ushkatyn III. It is shown that Ushkatyn III deposits ore samples characterized by a rather great structural uniformity and overall simple mineralogical composition. Ore minerals are represented by hausmannite, rhodochrosite, braunite and hematite and non-metallic mineral is represented by calcite, which is usually added into the charge in the form of lime or limestone in the production of manganese ferroalloys.

А. Ш. Жумадилова

магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОГО МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ

В статье представлено современное состояние технологий по обогащению угля. Показаны технологии, применяемые в Казахстане и за рубежом. Рассмотрены мокрые методы, которые основаны на гравитации и флотации, и сухие, которые подразумевают использование аэросуспензий, для тех регионов, где остро ощущается нехватка воды. Обзор по способам обогащения углей выявил, что требуется разработка новых реагентов и оптимизация применяемого оборудования для повышения качества угольного сырья.

Ключевые слова: Обогащение, уголь, сухие методы, мокрые методы, сепарация, углеперерабатывающие предприятия.

ВВЕДЕНИЕ

О применении угля знают, пожалуй, все. Ископаемые угли являются сложным веществом органического происхождения, содержащим минеральные примеси различного физико-химического состава и природы.

Полезная часть углей – горючее вещество – состоит из углерода, водорода, кислорода, азота и серы.

Вода и минеральные примеси являются балластом, некоторые другие элементы, например, сульфатная сера и фосфор – вредными примесями (особенно в углях, предназначенных для коксования). Минеральные вещества, содержащиеся в добытом угле, можно разделить на следующие две группы, исходя из возможности их удаления при обогащении:

первая группа – рассредоточенные по всей массе угля мельчайшие минеральные частицы и соли, прочно связанные с органическим веществом, которые практически существующими методами механического обогащения отделить невозможно;

вторая группа – минералы в виде обломков из пропластков (прослоев) глини, песчаников, известняков, а также вмещающих пород (кровли и почвы), попавших в уголь при его добыче. Эти примеси могут быть частично или полностью удалены из угля при обогащении.

Количество минеральных примесей в углях характеризует их зольность, которую определяют сжиганием угольной пробы в стандартных условиях. Зольность является основным показателем качества угля при обогащении и его переработке. Поскольку при определении зольности сжиганием происходит изменение массы минеральных примесей (удаление химически связанной воды, выделение углекислого газа и т. д.), то масса золы всегда меньше массы минеральных примесей.

Для более эффективного использования угля требуется повышение его качества, заключающееся в механическом отделении балластных и вредных примесей, рассортировке на классы по крупности и разделении на сорта в соответствии с требованиями основных потребителей. Совокупность указанных процессов называют обогащением.

Любая технологическая схема обогащения включает два основных этапа: разьединение минералов, т. е. разрушение сростков различных минералов, и последующее разделение «чистых» зерен. Разрушение осуществляют дроблением, а разделение – собственно методами обогащения.

В результате обогащения – угля получают продукты, отличающиеся содержанием в них горючей массы и минеральных примесей: концентрат и породу (отходы). В отдельных случаях при обогащении может выявиться необходимость в получении третьего продукта, являющегося по ценности промежуточным между концентратом и породой. Его так и называют – промежуточный продукт (промпродукт). Его используют как котельное топливо или подвергают повторному обогащению.

Именно этот процесс превращает угольное сырьё в товарный продукт, способный конкурировать на рынке органических энергоносителей с нефтью и газом и дающий возможность расширения рынков сбыта, т. к. после обогащения остаются в прошлом затратные перевозки пустой породы, сжигание высокозольного топлива, рост шлакозолоотвалов и загрязнение окружающей среды. Особенно это касается требований, предъявляемых к качеству угля зарубежными потребителями. Так, на сегодняшний день во всех индустриально развитых странах обогащению подвергается от 70 до 90 % всех добываемых каменных углей, в частности, в ФРГ – 95 %, в Великобритании – 75 %, в США – 55 %. Но мировыми лидерами в обогащении угля являются ЮАР и Австралия, где обогащается 100 % экспортируемого угля.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Самое широкое распространение у нас в стране получили «мокрые» технологии, когда для удаления примесей и шлаков используются струи воды. Рисунок 1.

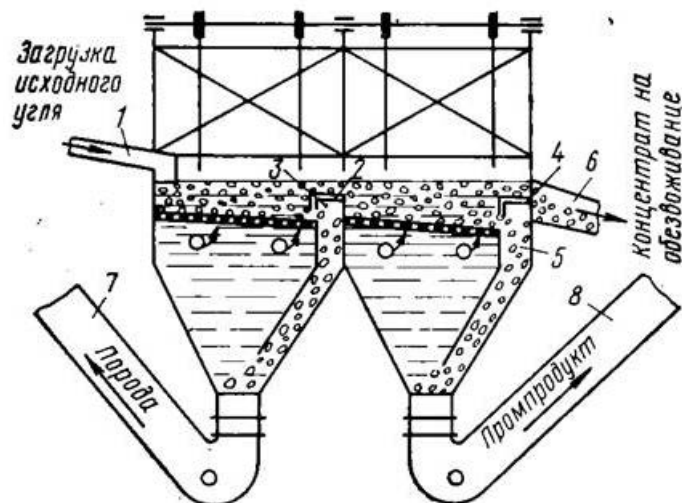


Рисунок 1 – Схема двухступенчатой отсадочной машины

Но и здесь есть новшества. Так, в промышленную эксплуатацию запущены установки с противоточным гравитационным сепаратором. Эта установка работает по следующему принципу: исходный уголь загружаются экскаватором или скребковым конвейером в передвижной бункер приёма горной массы, где на колосниках отделяются куски более 300 мм. Их подают на ленточный конвейер и далее транспортируют на блок подготовки перед обогащением. Горную массу крупностью 0–150 (100) мм конвейер подаёт в сепаратор, где выделяют концентрат и породу. Породу обезвоживают элеватором, а концентрат – на грохоте. Затем они поступают на соответствующие склады. Шламовая вода сгущается в гидроциклонах и сбрасывается в наружный отстойник. Сгущённый продукт гидроциклонов направляется в сепаратор в качестве циркуляционной нагрузки. Слив гидроциклонов направляется в напорный бак технической воды, туда же поступает часть воды из бака осветлённой воды. Техническая вода трубопроводами подается в сепаратор.

Таким образом, установка работает в замкнутом водно-шламовом цикле. Потери воды с продуктами обогащения и в отстойнике восполняются за счёт карьерных вод.

В качестве основного обогатительного аппарата используется противоточный крутонаклонный сепаратор. Обогащение в сепараторе происходит в потоке воды за счёт использования разницы в плотности угля и породы.

Более совершенной, с точки зрения затрат, является технология без использования воды. Рисунок 2.

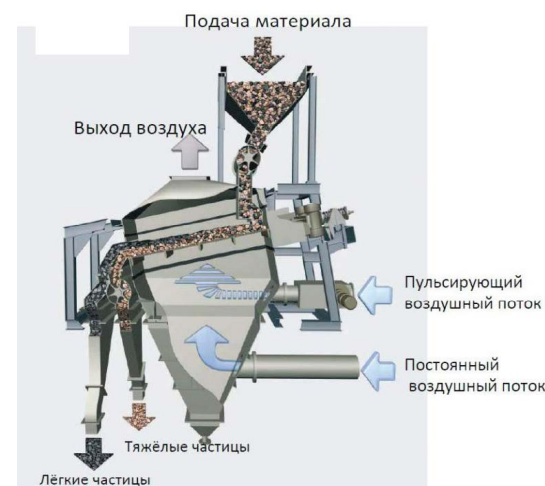


Рисунок 2 – Пневматическая отсадочная машина

Классическая схема процесса сухого обогащения угля выглядит следующим образом. Сначала уголь перегружается в приемный бункер обогатительного комплекса. Здесь все негабаритные куски проходят процесс измельчения с помощью гидромолотов, как правило, они установлены с манипулятором на опорной стойке. Гидромолот должен охватить достаточную площадь, чтобы раздробить негабарит, лежащий в любой точке колосниковой решётки дробилки. Далее порода поступает в пластинчатый питатель повышенной прочности, который располагается под приёмным бункером.

Затем через колосниковый вибрационный питатель материал поступает в щековую дробилку. Здесь крупные фракции твёрдых пород измельчают при помощи ротационной дробилки, которая состоит из внешней неподвижной оболочки с внутренним перфорированным барабаном. Необработанный уголь поднимается на высоту, падает поперёк барабана и более мягкий уголь ломается и проходит через отверстия, а твёрдые скальные породы выводятся из барабана. Такие роторные дробилки выполняют сразу две функции: измельчают и обогащают уголь за счёт удаления примесей скальных пород.

Следующим этапом уголь подают либо в мельницу, либо в валковую дробилку. Угольная мельница представляет собой уникальную конструкцию – это двухвалковые мельницы, способные измельчать как несортированный, так и сортированный уголь. Благодаря регулировке валков можно

гарантированно получать материал нужной крупности. Валки приводятся в движение двумя двигателями, связанными с валками зубчатой и клиноремной передачами, обеспечивая заданную производительность.

На заключительной стадии обогащения уголь попадает в высокочастотные грохоты, где происходит процесс отсева узких фракций. В мире насчитываются несколько производителей комплексов по сухому обогащению.

Методы сухого обогащения известны с первой половины прошлого века и были применены в нескольких отечественных разработках. Установки с применением метода получили широкое распространение в 1950–1960-х гг. Невысокая эффективность таких установок вследствие несовершенных на тот момент технологий, и неправильная, как показало время, расстановка акцентов в цепочке добыча – обогащение – транспортировка – сжигание угля. Плановая экономика диктовала другой подход к выстраиванию технологии переработки энергетического угля, нежели этого требуют условия рынка. Низкая стоимость грузовых железнодорожных перевозок и упор на постоянное увеличение количества добываемого угля (зачастую в ущерб качеству) сформировали систему, при которой далеко не весь отправляемый на электростанции уголь обогащался, а сами электростанции строились с расчетом на высокосольный, необогащенный уголь.

На сегодняшний день рост железнодорожных тарифов кардинальным образом меняет ситуацию. Отсутствие обогатительных мощностей в непосредственной близости от добычи определяет необходимость перевозки на большие расстояния необогащенного угля и фактически, заставляет платить за перевозку породы.

Применение установок сухого обогащения на угледобывающих предприятиях могло бы решить эту проблему, и положительный экономический эффект здесь формируется простым снижением затрат на перевозку пустой породы.

С другой стороны, современные условия определяют и совершенно иные нормы и требования к технологиям. Специалистам очевидны основные недостатки методов обогащения угля в водной среде. Это, прежде всего, необходимость организовывать большое водношламное хозяйство. Внутри этой проблемы – очищение оборотной воды, содержание водоотстойников.

Большое количество воды порождает необходимость содержать шламонакопители, размеры которых со временем превосходят размеры самого предприятия. Отдельно следует сказать и об ущербе для окружающей среды, ведь сообщение шламонакопителей с подземными водами приводит к серьезному ухудшению экологической ситуации. Установки сухого обогащения лишены всех этих недостатков. Воздух, как разделяющая среда, снимает все вышеперечисленные трудности. К тому же применение новых

технологий очистки и пылеулавливания позволяет минимизировать или почти полностью исключить выбросы в окружающую среду.

При разработке Экибастузского месторождения из-за сложного геологического строения наблюдается, с одной стороны, большой выход высокосольных углей, с другой – значительные колебания качества угля. Сжигание угля без принятия специальных мер по усреднению ухудшает показатели работы электростанций.

Намечено два пути решения задачи рационального использования Экибастузских углей: усреднение их при выемке и раздельное сжигание низкосольных и высокосольных углей на соответствующих электростанциях. В настоящее время отсутствуют специализированные электростанции для сжигания высокосольных углей, эффективное усреднение осуществляется только на разрезе «Восточный». Применение специальных усреднительных сооружений при эксплуатации железнодорожного транспорта экономически нецелесообразно. Сейчас более 80 % добытого угля сжигается на действующих электростанциях лишь с частичным усреднением угля в забое и в процессе формирования угольных составов. Во всех вышеуказанных случаях важное значение имеет управление качеством углей на всех этапах транспортирования угля – от забоя до топки электростанций.

Экибастузское месторождение повсеместно определено тремя сближенными пластами (1,2,3) большой мощности, имеющими сложное геологическое строение с часто переслаивающимися низкосольными и высокосольными прослойками мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров и зольностью от 15 до 82 %.

ВЫВОДЫ

Таким образом, одной из важнейших проблем углепереработки в настоящее время является повышение эффективности обогащения тонких классов углей с учетом возрастающих требований к качеству товарного концентрата, обеспечения экономической и экологической эффективности технологических процессов, сокращения неоправданных потерь углей. Анализ современных методов обогащения углей свидетельствует о перспективности использования сухого метода обогащения угля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Берт, Р. О.** Технология гравитационного обогащения. [Монография] – М. : Недра, 1990. – 574 с.

2 Оборудование для обогащения угля: [справ. пособие]; под ред Б. Ф. Братченко. – М. : Недра, 1979. – 335 с.

3 **Анохин, В. Д. и др.** Вибрационные сепараторы: [монография]; В. Д. Анохин, Д. А. Плинс, В. Н. Монахов. – М. : Недра, 1991. – 156 с.

4 **Гарковенко, Е. Е. и др.** Применение вибрационных пневматических сепараторов веерного типа при обогащении углей / Гарковенко Е. Е., Назимко Е. И., Корчевский А. Н., Гарин Ю. М., Пархоменко А. В. / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45(86). – С. 66–70.

5 **Гарковенко, Е. Е. и др.** Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей / Гарковенко Е. Е., Назимко Е. И., Букин С. Л., Корчевский А. Н. // Уголь Украины 2011 №5(653). – С. 41–45.

6 **Nazymko, O. I. et al.** Simulation of the Coal and Rock Particle Interaction Kinetics During the Dry Separation / Nazymko O. I., Garkovenko E. E., Corchevsky A. N., Nazymko V. V., Rozanov Y. A., Martyanov S. V. // Proceedings of XVI ICCP. – USA. – 2010. – p. 581–586.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

A. Sh. Zhumadilova

Көмірді құнарлатудың құрғақ әдісін қолдану перспективалары

Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. Sh. Zhumadilova

Prospects for the use of dry coal preparation method

Faculty of Energy Engineering,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада көмірді құнарлату технологияларының қазіргі жағдайы берілген. Қазақстанда және шетелде қолданылатын технологиялар көрсетілген. Гравитация мен флотацияға негізделген дымқыл әдістер және құрғақ, ол судың жетіспеу сезілетін аймақтар үшін аэросуспензияларды пайдалануды білдіреді. Көмірді құнарлату тәсілдері бойынша шолу жаңа реагенттерді әзірлеу және көмір шикізатының сапасын арттыру үшін қолданылатын жабдықты оңтайландыру талап етілетінін анықтады.

The article presents the current state of technology for coal enrichment. The technologies used in Kazakhstan and abroad are shown. Wet methods, which are based on gravity and flotation, and dry methods, which involve the use of air suspension, are considered for those regions where there is an acute shortage of water. A review of the methods of coal enrichment revealed that it is necessary to develop new reagents and optimize the equipment used to improve the quality of coal raw materials.

Е. А. Жумалинов

магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: elzhas25@mail.ru

АНАЛИЗ И УТИЛИЗАЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СТОКОВ И ОСАДКОВ ГОРОДА ПАВЛОДАР

Охрана окружающей среды представляет собой весьма многогранную проблему, решением которой занимаются, в частности, инженерно-технические работники практически всех специальностей, которые связаны с хозяйственной деятельностью в населенных пунктах и на промышленных предприятиях, которые могут являться источником загрязнения в основном воздушной и водной среды. Сточные воды – это воды, использованные на бытовые, производственные или другие нужды и загрязненные различными примесями, изменившими их первоначальный химический состав и физические свойства, а также воды, стекающие с территории населенных пунктов и промышленных предприятий в результате выпадения атмосферных осадков.

С помощью применения новейших биотехнологий по обработке иловых осадков успешно решаются. Полная стабилизация образующихся иловых осадков при глубоком распаде беззольного вещества и обеспечение его санитарно – гигиенических показателей.

Целью оптимизации существующих технологических схем очистных сооружений города Павлодара является изменение технологии переработки сырого осадка и избыточного активного ила и обеспечение разделения осадков на кек (обезвоженный осадок) с влажностью 74 % и фугат, возвращаемый в голову очистных сооружений.

ВВЕДЕНИЕ

Во все времена поселения людей и размещения промышленных объектов реализовывались в непосредственной близости от пресных водоемов, используемых для питьевых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных целей. В процессе использования воды человеком, она изменяла, свои природные свойства и в ряде случаев становилась опасной в

санитарном отношении. С развитием инженерного оборудования городов и промышленных объектов возникла необходимость в устройстве организованных способов отведения и очистки загрязненных отработанных потоков воды и образующихся осадков по специальным гидротехническим сооружениям.

С интенсивным ростом научно-технического прогресса увеличилось загрязнение окружающей среды, повысились требования, предъявляемые к современной системе очистке бытовых, производственных сточных вод и образующихся осадков, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнения.

Во многих городах технологической схемой очистки сточных вод и обезвоживания осадков предусмотрено досушивание, образующихся осадков, с влажностью 97 % в естественных условиях на картах.

Недостатком данной схемы является задействованность больших площадей под карты и распространяющийся неприятный запах во время чистки карт.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время природоохранное законодательство Республики Казахстан предъявляет жесткие требования к методам обработки и утилизации органических осадков сточных вод, которые не должны наносить ущерб окружающей среде. Осадки сточных вод содержат загрязнения в концентрированном виде и могут быть источником вторичного загрязнения природных вод и почв. Вопрос удаления, обработки и утилизации осадков на подавляющем большинстве очистных сооружений надлежащим образом не решен. На сегодняшний день осадки хранятся на иловых картах. Это самая простая и одновременно самая экологически опасная технология.

Проблема обработки иловых осадков действующих очистных сооружений, как в Казахстане, так и в странах ближнего зарубежья имеет два основных аспекта:

- 1) технологический, обусловленный неэффективностью существующих схем, в которых отсутствуют сооружения по санитарной обработке, стабилизации образующегося осадка и нейтрализации солей тяжелых металлов;
- 2) социально-экологический, выраженный в потере ценнейших земель под складирование не стабилизированного осадка, что приводит к загрязнению почвы, распространению неприятного запаха, а также к распространению негативного микробиологического и атмосферного фона, который отрицательно влияет на здоровье населения города.

Необходимость оптимизации существующих технологических схем очистных сооружений города Павлодара имеет социально-экологическую направленность.

Смесь сырого осадка и избыточного ила подвергается обработке аэробно-ферментно-кавитационным методом с последующим механическим обезвоживанием.

Аэробно-ферментно-кавитационный метод дает качественное иное протекание процесса стабилизации илового осадка и получение продукта торфообразной структуры, не имеющего неприятного запаха, с большим содержанием гуминовых веществ, с уменьшением беззольного вещества на 50 % и низкой концентрацией по БПК₅ возвратной надильовой воды (до 100 мг/дм³), что дает возможность ее сброса в голову сооружений. Обработка осадка по предложенной технологии ведется в закрытых емкостях, без вредных выбросов в атмосферу, при этом достигается глубокая минерализация осадков, улучшаются свойства стабилизированного осадка по влагоотдаче, обеспечивается качественное обеззараживание осадков, в том числе и уничтожение яиц гельминтов, сальмонеллы, палочек Коха и другой патогенной микрофлоры.

Обезвоженный осадок пригоден для утилизации в качестве удобрения.

В Республики Казахстан предложенная технология применяется впервые.

В введении в действие Экологического кодекса Республики Казахстан, направленного на систематизацию и ужесточения мер по охране окружающей среды применение безотходных технологий является основным критерием для решения проблемы утилизации отходов, образующихся в процессе очистки сточных вод.

При переходе на безотходную технологию очистки сточных вод проблема утилизации твердого вещества (кека), выделяемого из очищенной воды, решается исходя из конкретных условий сжиганием, получением биохимического продукта, в том числе выработкой органических соединений (удобрения). Однако серьезным препятствием при использовании осадков сточных вод в качестве органических удобрений являются жесткие санитарные требования к их полному обезвреживанию от патогенной микрофлоры.

Имеющийся опыт стабилизации и обеззараживания осадков при помощи метода аэробно – ферментно – кавитационного воздействия позволяет решить эти проблемы.

В работе рассмотрена возможность утилизации обезвоженного кека в качестве удобрения с брикетированием и в качестве топлива с сжиганием в собственной котельной.

По своим физическим свойствам обработанный аэробно – ферментно – кавитационным методом и затем обезвоженный осадок не поддается брикетированию. Он представляет собой твердую сыпучую массу с

преобладающим размером частиц 1–7 мм, не слеживается и полученные брикеты, рассыпаются.

Для возможности брикетирования в обезвоженный кек необходимо добавлять специальное связующее вещество, для выбора которого и для разработки технологии брикетирования необходимо проведение предварительных научно-исследовательских работ с последующим согласованием, как с потенциальными потребителями брикетированного кека, так и с компетентными органами в области экологии, сельского хозяйства и здравоохранения. Не исключается возможность нарушения экологической чистоты продукта и загрязнения продукции растениеводства связующим веществом для брикетирования.

В соответствии с технологическим процессом внесения удобрений (органоминерального продукта) брикетирование кека не желательно, так как удобрения вносятся в почву в сыпучем виде и существующие сельскохозяйственные машины не приспособлены. Для работы на брикетированных удобрениях. Брикеты все равно перед использованием необходимо измельчать. Организация брикетирования потребует больших капитальных и эксплуатационных затрат и приведет к удорожанию продукта, к отсутствию потребителей и замораживанию затраченных средств на организацию брикетирования. Поэтому организация брикетирования нецелесообразна.

Для разовых партий предлагается фасовать обезвоженный кек в мешки или мягкие специализированные контейнеры многократного использования. Для организации процесса фасования необходимо бункера обезвоженного кека снабдить специальными приспособлениями для установки тары и платформенными весами. Однако эти затраты намного экономичней чем организация брикетирования.

ВЫВОДЫ

В этой статье мы рассмотрели возможность использования обезвоженного кека в качестве топлива в собственной котельной, после изучения и проработки этого вопроса, так же проблематична, как и брикетирование. Разработанные и реализованные технологии сжигания осадков сточных вод основаны на сжигании в печах «кипящего слоя» (система «Пирофлюид»), с использованием инертных сыпучих материалов (песка) или во вращающихся барабанных печах (система РЕДСО) с твердыми сорбентами. Для этих систем требуется специальные конструкции аппаратов сжигания со сложной многоступенчатой системой пылеулавливания и очистки дымовых газов на циклонах, электрофильтрах, жидкостных адсорбентах и с реагентным хозяйством. Существующая котельная конструктивно не приспособлена

для сжигания обезвоженного кека. Для сжигания кека необходима ее коренная реконструкция. Даже модернизированная и оборудованная системой пылеулавливания и газоочистки котельная будет иметь очень низкую тепловую производительность ввиду очень низкой теплотворной способности обезвоженного до влажности 74 % и глубоко минерализованного кек, не превышающей 1000–1100 ккал/кг. Для сопоставления теплотворная способность природного газа составляет 11000–13000 ккал/м³, теплотворная способность каменных углей – 4300–8200 ккал/кг, теплотворная способность мазута – 9700–10750 ккал/кг. Поэтому при использовании обезвоженного кека в качестве топлива в зимнее время потребность очистных сооружений будет обеспечена на 10–20 % не более. Это приведет к необходимости проектирования и строительства самостоятельной установки по сжиганию кека, с большими капитальными и эксплуатационными затратами и с практически нулевым экономическим и отрицательным экологическим эффектом (загрязнение атмосферы окислами азота и соединениями диоксинов).

Сжигание осадков на практике применяется на достаточно удаленных от города очистных сооружениях, и если качество осадка не позволяет использовать его в сельском хозяйстве в качестве удобрения или органоминерального грунта.

Очистные сооружения находятся не далеко от города (7 км) и при применении аэробно – ферментно – кавитационного метода с механическим обезвоживанием обработки осадков до качества удобрений сжигание в котельной экономически и экологически не целесообразно.

Наиболее приемлемым во всех отношениях вариант временного хранения обработанного и обезвоженного осадка в зимнее время на существующих иловых картах с последующим вывозом потребителям в теплое время года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Кедров, В. С., Исаев, В. Н., Орлов, В. А., Пальгунов, П. П., Сомов, М. А., Чухин, А. А.** Водоснабжение и водоотведение. – Москва: Стройиздат. – 2002. – С. 335.

2 **Яковлев, С. В., Воронов, Ю. В.** Водоотведение и очистка сточных вод. – Москва : Ассоциация строительных ВУЗов. – 2002 . – С. 704.

3 **Ласков, Ю. М., Воронов, Ю. В., Катсулин, В. И.,** Примеры расчетов канализационных очистных сооружений. Учебное пособие для ВУЗов. – М. : Стройиздат, 1987. – 256 с.

4 **Туровский, И. С.** Обработка осадка сточных вод – Москва, Стройиздат, 1988 г., 256 с.

5 **Аграноник, Р. Я.** Технология обработки осадков сточных вод с применением центрифуг и ленточных фильтров-прессов. – М. : Стройиздат, 1985 г. – 144 с.

6 **Рубчак, И. Ю., Сирота, М. Н.** Сооружения для обработки осадка городских сточных вод. – Москва : Стройиздат. – 1978. – С. 205

7 Закон РК, Об охране окружающей среды. – Алматы : Пауан – 1997.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Е. А. Жумалинов

Павлодар қаласының лай және қалдық суларын жою және талдау

Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

E. A. Zhumalinov

Analysis and disposal of drainage and sediments of the city pavlodar

Faculty of Energy Engineering,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Қоршаған ортаны қорғау – бұл көптеген елді мекендерде және өнеркәсіптік кәсіпорындардағы экономикалық қызметпен байланысты барлық мамандықтардың инженерлік-техникалық қызметкерлері тарапынан, әсіресе, ауаның және су ортасының ластану көзі бола алатын әртүрлі мәселелер. Ағынды сулар – бұл тұрмыстық, өнеркәсіптік немесе өзге де қажеттіліктер үшін пайдаланылатын су және олардың бастапқы химиялық құрамын және физикалық қасиеттерін, сондай-ақ жауын-шашынның нәтижесінде елді мекендер мен өнеркәсіп кәсіпорындарының аумағынан ағып келген түрлі қоспалармен ластанған.

Тұнба шөгінділерін емдеу үшін соңғы биотехнологияны пайдалану сәтті шешілді. Тұнбаны толығымен тұрақтандыру, қатты заттың қатты бөлшектеуі және оның санитарлық-гигиеналық көрсеткіштері.

Павлодар қаласындағы тазарту құрылыстарының технологиялық схемаларын оңтайландыру мақсаты шикізаттың шламын және артық шөгінділерді өңдеу технологиясын өзгерту және

тазартқыш қондырғының басына оралған 74 % ылғалдылықпен және шөгінділерді тортқа (дегидратылған шлам) бөлуді қамтамасыз ету болып табылады.

Environmental protection is a very multifaceted problem that is addressed, in particular, by engineering and technical workers of almost all specialties that are associated with economic activities in human settlements and at industrial enterprises, which can be a source of pollution mainly of the air and water environment. Wastewater is water used for domestic, industrial or other needs and polluted with various impurities that have changed their initial chemical composition and physical properties, as well as water flowing from the territory of settlements and industrial enterprises as a result of precipitation.

Using the latest biotechnology for the treatment of sludge sediments successfully solved. Complete stabilization of sludge formed during deep decomposition of the ashless substance and ensuring its sanitary and hygienic indicators.

The goal of optimizing the existing technological schemes of the wastewater treatment plant in the city of Pavlodar is to change the technology for processing raw sludge and excess activated sludge and ensuring separation of sediments into a cake (dehydrated sludge) with 74 % humidity and a fugate returned to the head of the treatment plant.

ГРНТИ 45.53.49

А. К. Зильгараева¹, Н. К. Смайлов²

¹докторант, кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии» Институт информационных и телекоммуникационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан; ²PhD, преподаватель, кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии» Институт информационных и телекоммуникационных технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан e-mail: ¹alya_zk@mail.ru; ²nur_aly.kz@mail.ru

НЕИНВАЗИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ГЛЮКОЗЫ: ОБЗОР ПРОБЛЕМ И ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ

В статье рассматриваются устройства для контроля уровня глюкозы. Большие усилия были направлены на разработку неинвазивных приборов для мониторинга глюкозы, которые могут значительно улучшить качество жизни людей, страдающих диабетом, и способствовать их соблюдению для мониторинга глюкозы. В этой публикации рассматриваются прошлые, текущие и возникающие неинвазивные методы и устройства контроля глюкозы и представлены основные проблемы, с которыми они сталкиваются. Обсуждаются слабая специфичность и чувствительность к глюкозе, физиологическое отставание, процесс калибровки и перспективы человеческих факторов. Основной вывод заключается в том, что благоприятное неинвазивное устройство контроля глюкозы должно быть точным, удобства использования и применимости. Улучшение оценки удобства использования и применение устройства может пролить свет на основные проблемы пользователей и, таким образом, может дать значимый шаг вперед в коммерциализации неинвазивных устройств контроля глюкозы.

Ключевые слова: сахарный диабет, неинвазивный; глюкоза; глюкометр; спектроскопия; устройства.

ВВЕДЕНИЕ

Революция в оптоэлектронной технике, в частности полупроводниковых лазеров, за последние 50 лет привела к широкому распространению в областях науки и техники. Оптические материалы нашли множество

применений в телекоммуникации, биомедицине, и микрообработке и т.д. Основными задачами современных исследований в биомедицине могут быть сформулированы как разработка эффективных и надежных подходов, способных к неинвазивным и минимально-инвазивным нарушениям здоровых и больных состояний на самой ранней стадии, когда их можно легко лечить [1]. Эти подходы в сочетании с беспроводными технологиями в конечном итоге облегчат персонализированную медицину.

Устройства мониторинга уровня глюкозы представляют собой захватывающий рубеж в исследованиях в области диабета, которые могут улучшить жизнь человека в Казахстане. Ожидается, что в ближайшие 25 лет этот показатель возрастет примерно на 55 % [1]. В течение последних нескольких десятилетий возрастала потребность в экономичном, компактном, безболезненном и удобном неинвазивном устройстве, которое может облегчить боль, связанную с частым поражением кожи, и ускорить частое тестирование глюкозы, что помогает контролировать уровень глюкозы в крови [2]. Поэтому ученые разрабатывают такие устройства. Эти технологии должны быть безболезненными, компактными, легкими, переносимыми и простыми в эксплуатации. В то же время они должны быть точными в оценке концентрации глюкозы, пищевых и лекарственных препаратов. Понятно, что это чрезвычайно сложная задача.

Несколько обзоров уже затронули эту проблему, однако им не хватает информации об удобстве использования и применении для домашнего использования, поэтому для оценки прошлых, текущих и возникающих неинвазивных устройств контроля глюкозы следует учитывать перспективу человеческого фактора.



Рисунок 1 – Неинвазивные методы измерения уровня глюкозы

Технологии, используемые для неинвазивного мониторинга глюкозы, включают оптические [3], трансдермальные и термические методы [4]. Оптические методы используют различные свойства света для взаимодействия с глюкозой зависимым от концентрации. Трансдермальные методы включают измерение глюкозы через кожу, используя либо электричество, либо ультразвук. Наконец, термические методы нацелены на измерение уровня глюкозы путем выявления физиологических показателей, связанных с метаболическим выделением тепла. Предыдущие обзоры содержат подробную информацию о преимуществах и ограничениях каждого метода, поэтому в этом обзоре делается упор на перспективы и ограничения устройств, полученных из них. Вкратце, трансдермальные методы легко влияют на переменные среды, например температуры и пота, в то время как основным ограничением оптических технологий является то, что они зависят от свойств исследуемой ткани, таких как оттенок кожи.

НЕИНВАЗИВНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЛЮКОЗЫ

В таблице 1 представлена информация о прошлых, текущих и появляющихся устройствах.

Таблица 1 – Информация о неинвазивных устройствах контроля глюкозы [6]

Устройство	Технология	Целевая область	Частота	Утверждения и коммерциализация
Animas Technologies (Cygnus Inc.), биолог GlucoWatch® G2 (США)	Обратный ионтофорез	Эпидермис	Непрерывная	Одобренный СЕ (1999 год) и одобренный FDA (2001 год); был изъят с рынка из-за плохой точности и раздражения кожи
Pendragon Medical, Pendra® (Switzerland)	Импедансная спектроскопия	Эпидермис	Непрерывная	Утвержденный СЕ (2003 год); был отозван с рынка после плохой точности в пост маркетинговое исследование
OrSense, NBM-200G (Израиль)	Спектроскопия	Фаланги пальцев	Прерывистая	Утвержденный СЕ (2007); никогда не был коммерциализирован
C8 MediSensors (CA, USA)	Рамановская спектроскопия	Область живота	Непрерывная	Утвержденный СЕ (2011 год); компания была закрыта из-за финансовых трудностей
Integrity Applications, GlucoTrack® (Israel)	термические, ультразвуковые и электромагнитные приборы	Ушная раковина	Прерывистая	Утвержденный СЕ (2013 год); доступный в некоторых странах

Snoga Medical, Combo Glucometer (Israel)	Спектроскопия NIR	Кончики пальцев	Прерывистая	Утвержденный CE (2014 год); нет информации о коммерциализации
Nemaura Medical SugarBEAT™(United Kingdom)	Обратный ионтофорез	Рука, нога или живот	Непрерывная	Утвержденный CE (2016 год), запуск на рынок в 2017 году
MediWise GlucoWise™ (United Kingdom)	Радиоволновая спектроскопия	Участок между большим и указательным пальцами, или мочка уха	Непрерывная	Ожидается, что компания начнет принимать предварительные заказы в конце 2018 года.

GlucoWatch был устройством типа наручных часов, которое обеспечивало измерения интерстициальной концентрации глюкозы в режиме реального времени с интервалом в 10 минут. Устройство предназначено для использования взрослыми и детьми с диабетом 1 или 2 типа. Устройство использовало обратный ионтофорез для измерения количества молекул глюкозы, собранных через катодный диск, с датчиком, который содержит фермент глюкозооксидазу [5]. Однако этот продукт был выведен из рынка из-за раздражения кожи и низкой точности, вызванной движением, тренировкой, потоотделением или быстрыми изменениями температуры.

Pendra: Неинвазивное устройство в виде наручных часов, которое основывалось на импедансной спектроскопии. Устройство требовало калибровки и ошибок, вызванных потоотделением и движением. Исследование показало низкую точность. Устройство использует неинвазивную оптическую измерительную платформу в сочетании с зондом, прикрепленным пальцем. Зонд содержит источники света и детекторы, работающие в спектральной области RNIR красного/ближнего инфракрасного диапазона. Он также содержит пневматические манжеты, которые производят сильное давление, чтобы закупорить кровоток, который генерирует динамический оптический сигнал для мониторинга глюкозы [5]. Хотя этот продукт получил одобрение CE, он никогда не был коммерциализирован.

OrSense NBM-200G: Израиль разработал устройство OrSense NBM-200G для непрерывного мониторинга глюкозы у людей с диабетом типа 1 или типа 2. Устройство использует неинвазивную оптическую измерительную платформу в сочетании с зондовым зондом, прикрепленным пальцем. Зонд содержит источники света и детекторы, работающие в спектральной области RNIR красного/ближнего инфракрасного диапазона. Он также содержит пневматические манжеты, которые производят чрезмерно сильное давление, чтобы закупорить кровоток, который генерирует динамический

оптический сигнал для мониторинга глюкозы [5]. Перед использованием устройство требует калибровки. Клинические исследования, проведенные по 23 предметам, показали, что 95,5 % показаний прибора были в зонах SEG A и B, а средняя абсолютная относительная разница MARD составляла 17,2 % [4]. Хотя этот продукт получил одобрение CE, он никогда не был коммерциализирован.

C8MediSensors: Система мониторинга оптической глюкозы C8 MediSensors CA, США, опирались на спектроскопию комбинационного рассеяния света: луч света сиял в коже, и полученные колебания молекул глюкозы измерялись для получения показания глюкозы. Это устройство проводило непрерывное измерение уровня глюкозы каждые 5 минут. Одним из его основных преимуществ является отсутствие необходимости в калибровке против значений глюкозы в крови. Процентное содержание точек в зоне A и в зонах SEG A + B составляло 53 % и 92 % соответственно, а средняя абсолютная разница составляла 38 мг/дл N = 30 [4]. Это устройство получило одобрение CE, но больше не существует.

GlucoTrack: Израиль определяет уровни глюкозы с использованием трех неинвазивных методов: ультразвуковых, электромагнитных и тепловых. Устройство состоит из основного блока MU и персонального ушного вкладыша PEC, где расположены датчики (Рисунок 2) [5]. Эти датчики измеряют специфические ультразвуковые, электромагнитные и тепловые параметры ткани ушного вкладыша, которые происходят из-за смещений, связанных с глюкозой, в концентрации ионов, плотности, сжимаемости и гидратации как клеточного, так и внеклеточного отделов ткани.



Рисунок 2 – GlucoTrack – устройство для неинвазивного измерения уровня глюкозы крови

Устройство предназначено для людей с диабетом до диабета и диабета типа 2 и требует индивидуальной калибровки, которая устанавливает исходные условия для физиологических изменений и уменьшает влияние

квазиустойчивых факторов ткани мочки уха. Клиническое исследование, проведенное по 17 предметам 4 418 баллов, показало, что 98,0 % его показаний находятся в клинически приемлемых зонах А и В СЕГ с 52,4 % в зоне А. MARD и средняя абсолютная относительная разница были 22,8 % и 19,0 % соответственно [5]. Это устройство получило одобрение CE и коммерчески доступно в нескольких странах.

Combo Glucometer: Израиль разработал Combo Glucometer предназначенный для взрослых людей старше 18 лет с диабетом типа 2. Устройство основано на четырех светодиодах светодиодов. Из-за поглощения, когда свет проходит кончик пальца, обнаруженный спектр также изменяется. Процессор анализирует сигнал и извлекает биопараметры из сигнала. Перед использованием устройство необходимо откалибровать. Хотя устройство появляется на сайте компании и получило одобрение CE, информация о его коммерциализации отсутствует. Также отсутствует информация о производительности устройства.

Sugar BEAT: Соединенное Королевство предлагает бесколлекторные беспроводные CGM, подходящие для людей с типом 1, 2-го типа и преддиабетом. Устройство измеряет количество присутствующей глюкозы с 5-минутными интервалами, вытягивая небольшое количество глюкозы из ISF в патч, помещенный на кожу, через прохождение мягкого, не осязаемого электрического тока через кожу. Клинические результаты показали MARD 14.05 %, 75 % данных в зоне А и более 98 % данных в зонах А и В СЕГ. Однако эти результаты не были пересмотрены. Это устройство недавно получило одобрение CE и, как ожидается, будет запущено в 2017 году.

Gluco Wise: Великобритания выделяет уровни глюкозы, передавая радиоволны малой мощности через часть человеческого тела, такую как область между большим и указательным пальцами или мочкой уха. Устройство все еще находится в стадии разработки, ожидая предварительных заказов в конце 2018 года. Однако в настоящее время мало известно о точности этого устройства и является ли оно преимуществом по сравнению с другими устройствами.



Рисунок 2 – Неинвазивный глюкометр Glucowise

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ

Основные трудности в разработке неинвазивных датчиков глюкозы связаны с косвенным характером измерения и неизбежным процессом калибровки. Это может привести к снижению точности, низкому удобству использования и уменьшению применимости для домашнего использования, которые требуют больших усилий для преодоления. Эффективные решения этих барьеров будут представлять значительный прогресс в этой области.

ЗАДАЧИ, СВЯЗАННЫЕ С ТОЧНОСТЬЮ

Стремясь обеспечить точную оценку уровней глюкозы, неинвазивные устройства сталкиваются с несколькими ключевыми задачами, связанными с точностью, которые необходимо преодолеть. Плохая специфичность и чувствительность к глюкозе.

Косвенный характер неинвазивных подходов подвергает их воздействию относительно низкого отношения сигнала/шум SNR, поскольку на измеренные параметры могут влиять как от физиологических факторов, отличных от глюкозы, так и от внешних элементов. Несколько обзоров прошлых и текущих неинвазивных технологии показывают, что неинвазивные анализы требуют дополнительного увеличения SNR [4]. Большинство неинвазивных устройств основаны на оптических технологиях (таблица 1), которые обычно имеют низкую чувствительность и специфичность к глюкозе из-за очень низкого сигнала, создаваемого молекулами глюкозы [5]. Трансдермальные технологии также могут быть подвергнуты низкому SNR, как в случае Pendra, которые страдали от плохой точности, что было связано с вмешательством других процессов в организме [6]. GlucoTrack пытается увеличивать специфичность глюкозы путем интеграции трех независимых технологий, связанных с глюкозой. Этот параллельный мониторинг более чем одного параметра с использованием многотехнологичной системы направлен на преодоление отсутствия специфичности каждой технологии, поскольку объединение разных факторов обеспечивает более полную оценку глюкозы путем покрытия различных параметров физической и химической ткани.

Еще одна важная проблема – неспособность конвертировать многообещающие результаты в контролируемые настройки в постоянные точные измерения в естественных условиях. Напротив, устройства, которые применяют прерывистый подход к измерению, а не непрерывный, например, GlucoTrack и Combo Glucometer, могут уменьшить влияние этих мешающих факторов.

Проблемы удобства использования и применимости

С четким признанием критической роли юзабилити и интерфейса человека в медицинских устройствах [7] еще одна важная цель – сделать

неинвазивные устройства мониторинга глюкозы удобными для пользователя, очень подходящими для широкого населения и применимыми для домашнего использования. Это сложная задача, которая требует нескольких дополнительных барьеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Атлас диабета Международной федерации диабета (IDF), 2015 г. Брюссель, Бельгия: Международная федерация диабета.

2 **Онг, В. М., Чуа, С. С.**, Препятствия и факторы, способствующие самоконтролю уровня глюкозы в крови у людей с диабетом 2 типа с использованием инсулина. 237–246 стр. 2016 г.

3 Natice VD., Tulaу Y. Неинвазивное измерение глюкозы у больных сахарным диабетом. 121–132 стр. 2017 г.

4 **Хорман, К., Майзел, Й., Гал, А., Бахарган, К., Дрекслер, А. и Лин, Т.** Оценка эффективности и опыта пользователя неинвазивного устройства для мониторинга глюкозы. 1–7 стр. 2016 г.

5 **Эльбаев, А. Д., Курданов, Х. А., Эльбаева, А. Д.** «Диагностические аспекты взаимосвязи параметров гемодинамики и уровня глюкозы в крови», журнал «Клиническая физиология кровообращения», 2016, N 3, – стр. 15–20.

6 http://www.google.ru/patents/about/6954662_Method_of_monitoring_glucose_level.htm

7 **Heise, H. M., Marbach, R., Janatsch, G., Kruse-Jarres, J. D.**, – Determination of Glucose in Whole Blood Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy, Anal. Chem. 1989: 61, 2009–2015.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Ә. К. Зилгараева¹, Н. К. Смайлов²

Инвазивті емес глюкозаны мониторингілеу: мәселелер мен алғы жетістіктерге шолу

^{1,2}Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық ғылыми-зерттеу технологиялық университеті, Алматы қ., 050013, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. K. Silgarayeva¹, N. K. Smailov²

Non-invasive glucose monitoring: a review of the problems and recent achievements

^{1,2}School of Information and Telecommunication Technologies,
K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University,
Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Мақалада глюкоза деңгейін бақылауға арналған құрылғылар қарастырылған. Диабетпен ауыратын адамдардың өмір сүру сапасын едәуір жақсарту алатын глюкозаның инвазивті емес бақылау құралдарын дамытуға үлкен күш-жігер жұмсалды және оларды глюкозаны мониторингілеу үшін сақтауға үлес қосады. Осы жарияланымда өткен, қазіргі және дамып келе жатқан инвазивті емес әдістер мен глюкозаны бақылауға арналған құрылғылар талқыланып, оларға кездесетін негізгі проблемалар ұсынылды. Глюкозаға, физиологиялық тежелу, калибрлеу үдерісіне және адам факторларының перспективаларының глюкозаға қатысты әлсіз ерекшелігі және сезімталдығы талқыланады. Негізгі қорытынды – глюкозаның қолайлы инвазивті емес бақылау құралы дәл, қолайлы қолданылуы тиіс. Пайдалануға жарамдылықты және құрылғыларды пайдалануды жетілдіру негізгі пайдаланушы проблемаларына нұқсан келтіруі мүмкін және демек, инвазивті емес глюкоза бақылау құралдарын коммерцияландыруда маңызды қадам жасай алады.

The article discusses devices for monitoring glucose levels. Great efforts have been devoted to the development of non-invasive glucose monitoring devices that can significantly improve the quality of life of people with diabetes, and contribute to their observance for glucose monitoring. This publication discusses past, current and emerging non-invasive methods and devices for glucose control and presents the main problems they face. Weakness and sensitivity to glucose, physiological lag, the calibration process and the perspectives of human factors are discussed. The main conclusion is that a favorable non-invasive glucose control device must be accurate, usable and applicable. Improving usability and device use can shed light on major user problems and, thus, can provide a significant step forward in commercializing non-invasive glucose control devices.

В. П. Ивель¹, А. А. Изанищев²

¹д.т.н., профессор, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан;

²докторант, Факультет инженерии и цифровых технологий, Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева, г. Петропавловск, 150000, Республика Казахстан
e-mail: slayer@list.ru

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН
В ПРОЦЕССЕ НАПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Рабочие лопатки являются ответственной частью, поломка которых неминуемо повлечёт за собой серьёзную аварию. С целью устранения возможных повреждений и поломок можно применять при ремонте покрытия из керамических порошковых соединений. Такие покрытия с увеличением его толщины имеют тенденцию увеличения термического сопротивления. Широкое применение таких покрытий обусловлено его низкой теплопроводностью, высоким коэффициентом термического расширения и, главное, возможностью обеспечения высоких механических свойств покрытий. Основной задачей при достижении необходимого результата является обеспечение заданных условий при нанесении напыляемого покрытия, что увеличит долговечность восстанавливаемых деталей.

В работе рассматривается создание системы стабилизации температуры лопаток паровых турбин в процессе напыления порошковых соединений. Правильно выбранная и поддерживаемая температура подложки при напылении позволит получить покрытие с нужными параметрами и сократит вероятность повреждения лопаток из-за некачественного нанесения материала.

По результатам исследования выявлено, что разрабатываемая система обеспечивает стабилизацию температуры во время нанесения напыления, а полученная поверхность соответствует необходимым требованиям.

Ключевые слова: лазерное напыление, керамические порошки, стабилизация температуры, лопатки турбины, компьютерное моделирование системы.

ВВЕДЕНИЕ

Ресурс паровых турбин рассчитывается согласно ресурсу узлов части высокого и среднего давления, подверженных высоким температурам. Информация о ресурсе других деталей турбин не фиксируется в нормативных документах и не прописывается в техусловиях при поставке турбин. Отсутствие такой информации является результатом того, что ресурс деталей паровых турбин, например, рабочих лопаток, нельзя определить однозначно. Часто при эксплуатации не придаётся значение ряду факторов, снижающих ресурс лопаток.

К наиболее частым повреждениям лопаток можно отнести эрозию и коррозию. Эрозией лопаток является механическое изнашивание входных кромок лопаток под действием ударов капелек воды, образующихся в паре вследствие его частичной конденсации и увлекаемых паровым потоком. Такое разрушение объясняется меньшей скоростью содержащихся в паре капелек воды по сравнению со скоростью пара, а, следовательно, другим их относительным направлением, чем направление паровой струи.

К коррозионному повреждению лопаток относится химическое разъедание их поверхности под влиянием кислорода (ржавления), щелочи, накипи и пр. Коррозия чаще всего поражает выходные кромки, бандажи, лопаточные стенки, покрывая их наростами бугорчатого характера. Под такими образованиями чаще всего обнаруживаются язвы, достигающие до 1–3 мм в сечении металла, а у кромок эти язвы проходят сквозь и образуют зорчатые, легко ломающиеся края [2].

Поверхности из керамических соединений в меньшей степени подвержены влиянию такого рода воздействий, поэтому позволяет в большей степени обеспечить долговечность отдельных лопаток в частности и всей установки в целом. Восстановление лопатки паровой турбины по предлагаемому способу позволяет уменьшить растягивающие остаточные напряжения, повысить трещиностойкость, предел выносливости, коррозионную и эрозионную стойкость восстановленной лопатки, повысить технологичность и снизить стоимость процесса восстановления. Покрытия, полученные по данному способу, обладают высокой термоусталостью. Это качество весьма необходимо, так как работа лопаток турбины происходит в очень тяжёлых условиях (переменные высокие температуры, различное воздействие струи горячего пара, а также центробежной силы). В связи с этим конструкцию лопаток и материал подбирают согласно тщательно просчитанным техническим условиям, а к монтажу и изготовлению предъявляют высокие требования [1].

Рабочие лопатки турбины, работая в условиях сложного совместного действия статических, термоциклических и динамических нагрузок, подвергаются неизотермическому давлению при достижении экстремальных температур в цикле работы [3]. Это способствует появлению в материале обширных областей, охваченных циклическими пластическими деформациями, в которых исходные контракционные и прочностные свойства материала претерпевают значимые изменения. Этим во многом объясняются повреждения, переходящие в трещины и разрушения колёс и лопаток турбины. Однако полная замена турбины достаточно затратное мероприятие. Поэтому необходимо создать соответствующие условия для восстановительных работ лопаток турбин, таких как напыление керамических соединений на поверхность лопаток. Данный процесс должен проходить при определённых параметрах окружающей среды и напыляемой поверхности. Температура подслоя должна соответствовать значению, указанному в технических условиях к материалу. Таким образом необходимо разработать систему, которая будет отслеживать изменения температуры на поверхности лопатки и регулировать её в зависимости от заданного значения [4].

Системы стабилизации предназначены для поддержания постоянного значения регулируемой величины, в данном случае температуры – t . Контроль за этим параметром производится с помощью отрицательной обратной связи. Изначально задаётся требуемое значение температуры, соответствующее указанной в технологических условиях процесса напыления порошкового материала. Способ газотермического напыления керамического покрытия включает напыление металлического подслоя, а затем слоя керамики. К примеру порошок на основе частично стабилизированного диоксида циркония следует напылять при температуре основы 150–200 °С и температуре поверхности формирующегося покрытия, разогретой до 1300 °С.

Считывание значения температуры с объекта управления (лопатки турбины) происходит при помощи пирометра. Датчик такого рода позволяет производить измерения температуры без непосредственного соприкосновения с поверхностью детали, что облегчает работу системы и её автономность. Далее система сверяет заданное значение с текущим и, в зависимости от полученного результата, даёт сигнал на реле [5].

Далее ток поступает на электромагнитный клапан, служащий для подачи газа в нагревательную горелку. Пламя с горелки направлено на объект управления (лопатку), тем самым производя нагрев лопатки. В то же время происходит считывание температуры датчиком. При достижении соответствующего значения произойдёт отключение реле, клапана, и как следствие нагрев прекратится.

Система стабилизации температуры является частью системы восстановления лопаток. Далее будет на рисунке 1 показана структурная схема всей системы.

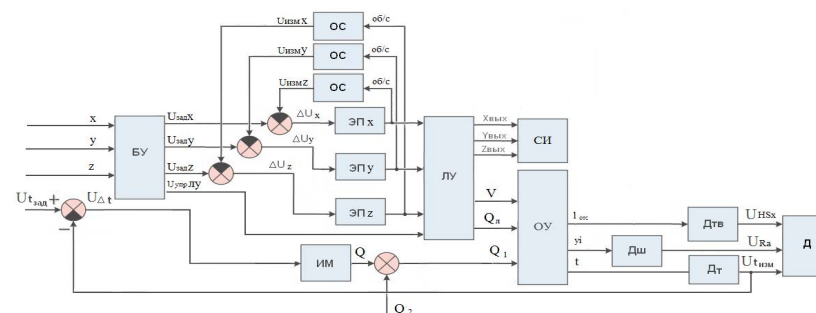


Рисунок 1 – Структурная схема системы контроля и управления процессом напыления порошка и оплавления его лазерным лучом на лопатки паровых турбин

На рисунке 1 приняты следующие условные обозначения:

БУ – блок управления, ОС – обратная связь, ЛУ – лазерная установка, ЭП – электропривод, ОУ – объект управления, ИМ – исполнительный механизм, СИ – система индикации, Дш – датчик шероховатости, Дтв – датчик твёрдости, Дт – датчик температуры, Д – дисплей.

При разработке системы восстановительного процесса следовало учитывать то, что процесс напыления должен проходить при определённых условиях. Следовательно, контроль этих параметров необходимо контролировать на протяжении всего процесса [6].

Структурную схему можно условно разделить на четыре части. Первая из них производит перемещение лазерной установки. Вторая управляет процессом напыления, мощностью оплавления порошка на поверхности лопатки. Третья часть контролирует значения датчиков и выводит на дисплей. В четвёртой происходит стабилизация температуры и предварительный прогрев лопатки перед напылением [6].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В работе рассматривается система контроля температуры лопатки, поэтому в качестве исполнительного механизма будет использован электромагнитный клапан регулирующий подачу газа в горелку. Напряжение питания клапана составляет 24 В, время срабатывания – 0,05 с., коэффициент расхода топлива – 6 м²/час;

Удельная теплота сгорания газа G20 – 34,02 МДж/куб.м Т.е. 1 куб.м G20 при сгорании выделит 34,02 МДж. Таким образом, коэффициент расхода энергии будет – 945 Дж/с. Так как КПД газовой горелки в основном не превышает 40-60 %, то коэффициент передачи энергии будет равным $P_1 = k_p = 600$ Дж/с. Коэффициент усиления равен отношению входной у величины к выходной х:

$$k = \frac{y}{x} = \frac{V}{Kp} \tag{1}$$

$$k_{хл} = \frac{24}{600} = 0,04$$

Данный клапан является инерционным звеном и описывается передаточной функцией первого порядка. Постоянной времени клапана является время перемещения клапана регулирующего органа на $\frac{1}{3}$ номинального хода после ступенчатого изменения ее входного сигнала. Известно время срабатывания клапана $T_{кл} = 0,05$ с.

$$T_p = \frac{1}{3} \cdot T_{кл} = \frac{1}{3} \cdot 0,05 \approx 0,0167$$

Таким образом, передаточную функцию этого звена можно записать в виде:

$$W_{ум} = \frac{k_{ум}}{T_p + 1} = \frac{0,04}{0,0167 p + 1} \tag{2}$$

Нагревательная горелка выдает в секунду энергию Q_1 . За эту же секунду лопатка отдаёт в окружающее пространство энергию Q_2 . Разность энергии $Q_1 - Q_2$ обеспечивает нагрев лопатки. По уравнению теплового баланса записывается уравнение:

$$Q_1 - Q_2 = C_n \cdot m \cdot \frac{dt}{d\tau}, \tag{3}$$

где C_n – теплоемкость лопатки, m – масса лопатка, t – температура лопатки, τ – время. Мощность охлаждения Q_2 зависит от габаритов лопатки и разности температур между лопаткой и окружающим воздухом. В первом приближении можно записать, что:

$$k_2 = \alpha(t - t_1) \cdot S$$

$$Q_1 - \alpha(t - t_1)S = C_p \cdot m \cdot \frac{dt}{d\tau} \tag{4}$$

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W_{лн}(p) = \frac{k_p - k_2}{T_{наз}p + 1} \tag{5}$$

Постоянная времени нагревательного процесса будет:

$$T_{наз} = \frac{m \cdot c}{S \cdot \lambda},$$

где λ – коэффициент теплоотдачи с поверхности $\lambda = 46,7726$ Дж/с·м²·К, m – масса лопатки m=2 кг, c – удельная теплоёмкость c=500 Дж/кг·К, S площадь лопатки составит около S = 0,08 м².

$$T_{наз} = \frac{2 \cdot 500}{0,08 \cdot 46} = 273$$

Энергия необходимая для нагрева лопатки до заданной температуры:

$$Q_{л} = 500 \cdot 1 \cdot 130 = 65 \text{ кДж}$$

Энергия, выделяемая поверхностью лопатки, будет меняться в зависимости от разности температур. Температура в производственном помещении является величиной постоянной и будет составлять $t_1 = 20$ °С. Температура необходимая для производства лазерной наплавки $t = 150$ °С. Поэтому для упрощения берётся среднее значение:

$$P_1 = k_{охл} = 47 \cdot 65 \cdot 0,08 \approx 244 \text{ Дж/с}$$

Передаточная функция получится:

$$W_{лн}(p) = \frac{600 - 244}{273 p + 1} = \frac{356}{273 p + 1}$$

Время необходимое для нагрева лопатки до требуемой температуры:

$$\tau = \frac{Q_{л}}{Kp} = \frac{65 \cdot 10^3}{500} = 130 \text{ с}$$

В качестве датчика температуры будет использоваться пирометр MLX90614-BC1 с диапазоном измерений от -70 до +382. Показатель инерции пирометра $T_{dm} = 0,33$ с. Коэффициент передачи/усиления равен $k_{dm} = 0,95$. Так как этот элемент имеет одну постоянную времени, то его передаточная функция будет идентична передаточной функции инерционного звена первого порядка и будет иметь вид:

$$W_{dm}(p) = \frac{k_{dm}}{T_{dm} \cdot p + 1} \tag{6}$$

После замены констант их численными значениями получается:

$$W_{\Delta m}(P) = \frac{0,95}{0,33 \cdot p + 1},$$

где P – параметр Лапласа.

Передаточная функция замкнутой системы будет:

$$W_T(P) = \frac{W_{ум}(p)W_{лн}(p)W_{\Delta m}(p)}{1+W_{ум}(p)W_{лн}(p)W_{\Delta m}(p)}$$

$$W_T(P) = \frac{\frac{k_{ум}}{Tp+1} \cdot \frac{k_1-k_2}{T_{наг}+1} \cdot \frac{k_{\Delta m}}{T_{\Delta m} \cdot p+1}}{1+\frac{k_{ум}}{Tp+1} \cdot \frac{k_1-k_2}{T_{наг}+1} \cdot \frac{k_{\Delta m}}{T_{\Delta m} \cdot p+1}} \quad (7)$$

$$W_T(P) = \frac{\frac{0,04}{0,0167p+1} \cdot \frac{356}{273p+1} \cdot \frac{0,95}{0,33 \cdot p+1}}{1+\frac{0,04}{0,0167p+1} \cdot \frac{356}{273p+1} \cdot \frac{0,95}{0,33 \cdot p+1}} = \frac{\frac{13,598}{1,07p^3+210,83p^2+273,4p+1}}{1+\frac{13,598}{1,07p^3+210,83p^2+273,4p+1}} = \frac{13,598}{1,07p^3+210,83p^2+273,4p+19,164}$$

Одним из лучших способов проверить и оценить параметры системы является компьютерное моделирование. В этом сможет помочь программа Matlab. Это пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете. В составе Matlab'a есть графическая среда имитационного моделирования – Simulink. Она позволяет при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы. Интерактивная среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени. С помощью блоков из секции Real-time Windows Target есть возможность подключать широкий набор плат ввода/вывода, а также создавать систему реального времени и управлять ею для быстрого прототипирования и программно-аппаратной (hardware-in-the-loop) симуляции. [8]

На рисунке 2 и 3 показана Simulink-модель системы и данные с блока Score.



Рисунок 2 – Simulink-модель системы стабилизации температуры при напылении

В системе моделирования Simulink была написана модель, соответствующая рассчитанным передаточным функциям блоков системы стабилизации. В блоке «Задатчик температуры» устанавливается требуемое значение температуры объекта управления. Далее идёт преобразование сигнала для сравнения его с полученным из отрицательной обратной связи. Реле срабатывает при условии, если значение, полученное с датчика, не достигло заданного. Далее идут блоки с передаточными функциями клапана нагревательной горелки, объекта управления и датчика температуры. Полученное значение температуры с датчика выводится в блок Score (рисунок 3).

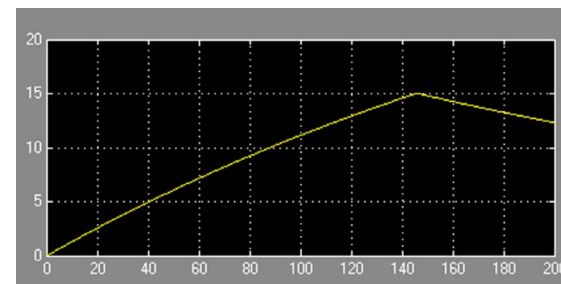


Рисунок 3 – График с блок Score, выход с датчика температуры

Для подключения внешних устройств система была переделана с помощью блоков из секции Real-time Windows Target (рисунок 4).

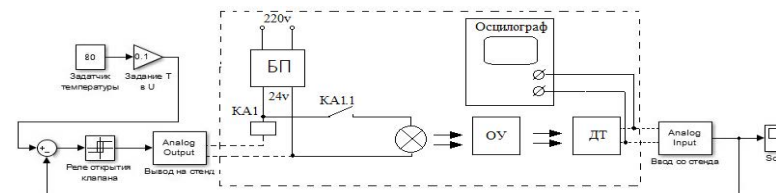


Рисунок 4 – Simulink модель с подключением внешних устройств

Где БП – блок питания 220/24, КА1 – реле, ОУ – объект управления (металлическая пластина), ДТ – датчик температуры (пирометр)

На рисунке 5 показана экспериментальная модель системы и показания осциллографа.

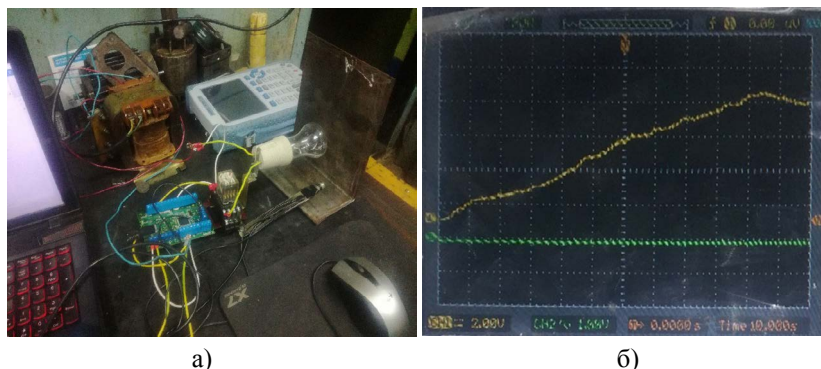


Рисунок 5 – а) Стенд системы стабилизации температуры и б) показания осциллографа

В данной модели вместо нагревательной горелки (исполнительного механизма) была использована лампа накаливания. Системы получив сигнал датчика температуры, сравнив его с заданным, выдаёт сигнал на включение реле, которая запитывает спираль лампы. Она в свою очередь начинает греть стальную пластину.

ВЫВОДЫ

Сравнивая расчётные и фактические результаты можно сказать, что система работает в соответствии с заданными требованиями. После достижения установленной температуры происходит отключение исполнительного механизма и также как в компьютерной модели происходит постепенное её снижение. Естественно при нагреве с помощью лампы накаливания невозможно разогреть поверхность до температуры 150°C, таким образом в эксперименте был использован порог срабатывания в 80°C. Но такая разница в уровне не является существенной, так как система должна работать при различных заданных параметрах. После отключения исполнительного механизма температура некоторое время повышалось. Это связано с тем, что нагрев происходит не совсем равномерно, то есть полученная энергия распределяется от центра к краям постепенно. Но вследствие того, что технические условия содержат достаточно большой диапазон температур, при которых можно производить напыление, то такая инертность системы вполне допустима.

По итогам проделанной работы можно заключить:

1 Разработанная система позволяет оператору производить наплавочные работы и контролировать требуемую по техническому процессу температуру на лопатках без необходимости применять дополнительные приспособления. То есть без непосредственного ручного подогрева нагревательной горелкой. Такая системы сокращает время на восстановительные работы, а также даёт возможность сконцентрироваться непосредственно на процессе наплавки

2 Система способна отслеживать заданный параметр во время работы и сигнализировать о выходе температуры из допустимых пределов. Это позволяет сократить до минимума вероятность получения некачественного покрытия.

3 Наблюдается некоторая инертность работы системы, по причине неравномерного прогрева. Но этот фактор не существен из-за достаточно широкого диапазона допустимых температур при напылении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Тарасенко, Ю. П., Царёва, И. Н., Бердник, О. Б., Фель, Я. А., Федорченко, Д. Г. – Теплозащитное покрытие диоксида циркония на интерметаллидном подслое, полученное методом высокоэнергетического плазменного напыления, для турбинных лопаток газотурбинных двигателей. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, – г. Самара, № 4 (46) 2014 – с. 90–98.

2 Бауман, Н. Я., Яковлев, М.И., Свечков, И. Н. Технология производства паровых и газовых турбин. 1967, – С. 465 с.

3 Идову, О. А. Влияние тепловой нагрузки на зону термического влияния в лазерном сварном сплаве // АТИ Аллвак 718plus. Материаловедение и техника А, 200. 2007 – С. 454–455, 389–397.

4 Жученко, Л. А., Кортенко, В. В., Сахнин, Ю. А., Ермолаев, В. В. О восстановлении ресурса рабочих лопаток и дисков паровых турбин [Электронный ресурс] <http://leg.co.ua/arhiv/generaciya/o-vosstanovlenii-resursa-rabochih-lopatok-i-diskov-parovyh-turbin.html>. (дата обращения 15.09.2018).

5 Годовская, Г. В., Хафизов, Р. Х., Исанбердин, А. Н., Людвиницкий, С. В., Смыслов, А. М. Смыслова Способ восстановления лопаток паровых турбин М.К. <http://www.findpatent.ru/patent/225/2251476.html>. (15.09.2018).

6 Марахтанов, М. К., Клименко, Г. К., Чжо Вин Наинг. Исследование характеристик шероховатости покрытия, нанесенного методом плазменного напыления. // Известие высших учебных заведений. Машиностроение. г. Москва, #2(647) 2014 – С. 88–98.

7 **Спина, Р.** Термо-механическое моделирование лазерной сварки листов АА5083 // Журнал технологии обработки материалов, 2007, 191, – С. 215–219.

8 **Дьяконов, В. П.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании, 2007. – С. 567.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

В. П. Ивель¹, А. А. Иванищев²

Ұнтақ қосылыстарының тұндыру кезінде бу турбиналық пышақтардың температурасын тұрақтандыру жүйесін әзірлеу

^{1,2}Инженерлік және сандық технологиялар факультеті,

М. Қозыбаев атындағы

Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,

Петропавл қ., 150000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

V. P. Ivel¹, A. A. Ivanishchev²

Development of a system for stabilizing the temperature of steam turbine blades during the deposition of powder compounds

^{1,2}Faculty of Engineering and Digital Technology,

M. Kozybayev North Kazakhstan State University,

Petropavlovsk, 150000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Пышақтар – ең жауапты бөліктер, олардың бұзылуы сөзсіз апатқа әкеледі. Бқтимал зақымдар мен бұзылуды болдырмау үшін керамикалық ұнтақ қосылыстарының қаптамасын жөндеуге болады. Қалыңдығының ұлаюымен осындай қаптамалар жылу кедергісін арттырады. Мұндай жабындардың кеңінен қолданылуы оның төменгі жылу өткізгіштікке, жылу кеңеюінің жоғары коэффициентіне және ең бастысы жабудың жоғары механикалық қасиеттерін қамтамасыз етуге қабілеттілігіне байланысты. Қажетті нәтижеге қол жеткізудегі негізгі міндет – бүршік жабындарды қолдану кезінде көрсетілген жағдайларды қамтамасыз ету, бұл жөнделетін бөлшектердің беріктігін арттырады.

Қағазда ұнтақ қосылыстарын бүрку процесінде бу турбиналық пышақтардың температурасын тұрақтандыру жүйесін құру қарастырылады. Бүрку кезінде дұрыс таңдалған және сақталған субстрат температурасы қажетті параметрлерді жабуды

қамтамасыз етеді және материалдың нашар қолданылуы салдарынан пышақтардың зақымдану ықтималдығын азайтады.

Зерттеу қорытындысы бойынша, әзірленген жүйе бүрку кезінде температураны тұрақтандыруды қамтамасыз етеді, ал нәтижесінде алынған беті қажетті талаптарға жауап береді.

Blades are the most responsible parts, the breakdown of which will inevitably lead to a serious accident. In order to eliminate possible damages and breakdowns, it is possible to use in repairing the coating of ceramic powder compounds. Such coatings with an increase in its thickness tend to increase thermal resistance. The widespread use of such coatings is due to its low thermal conductivity, high coefficient of thermal expansion and, most importantly, the ability to provide high mechanical properties of coatings. The main task in achieving the desired result is to ensure the specified conditions during the application of the sprayed coating, which will increase the durability of the parts being restored.

In this article discussed the creation of a system for stabilizing the temperature of steam turbine blades in the process of spraying powder compounds. Properly chosen and maintained substrate temperature during spraying will provide a coating with the desired parameters and reduce the likelihood of damage to the blades due to poor application of the material.

According to the results of the study, it was revealed that the system being developed ensures temperature stabilization during spraying, and the resulting surface meets the necessary requirements.

С. С. Исенов¹, Ж. С. Исенов², Н. Н. Нуржан³

¹к.т.н., ассоц. профессор, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

²магистр, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

³магистр, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

e-mail: ¹iss_kz@bk.ru

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В научной статье приведена разработанная принципиальная электрическая схема системы микропроцессорного управления многодвигательным электроприводом. Новизной технического решения является то, что в цепи статора введены IGBT-транзисторы, которые позволяют преобразовать и регулировать питающее напряжение.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод, микропроцессорное управление, IGBT-транзисторы.

ВВЕДЕНИЕ

Современный электропривод представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразователя энергии – двигателя, силового преобразователя и устройства управления. Он обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую в соответствии с алгоритмом работы технологической установки. Сфера применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется. По статистике более 60 % вырабатываемой на производстве электроэнергии потребляется электрическими двигателями. Следовательно, эффективность энерго-сберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода.

Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем автоматического управления электроприводом является одним из приоритетных направлений развития современной техники.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В работе [1] в качестве способа управления электромеханической системой использовались тиристорные пары в цепи статоров, служащие для преобразования и регулирования питающим напряжением, а в качестве системы управления использовался микроконтроллер. Учитывая постоянное совершенствование полупроводниковой техники в работе предложено модернизированное техническое решение.

Развитие силовой электроники в данное время позволило освоить промышленное производство биполярных транзисторов с изолированным затвором – IGBT, силовых модулей на их основе (стойки и целые инверторы), а также силовых интеллектуальных модулей – IPM с встроенными средствами защиты ключей и интерфейсами для непосредственного подключения к микропроцессорным системам управления [2, 3].

Основным отличительным качеством IGBT-транзисторов является [2, 3]:

1. Управляются напряжением (как любой полевой транзистор);
2. Имеют низкие потери в открытом состоянии;
3. Могут работать при температуре более 100 °С;
4. Способны работать с напряжением более 1000 Вольт и мощностями

свыше 5 киловатт.

Интеграция в микропроцессорной технике и переход от микропроцессоров к микроконтроллерам с встроенным набором специализированных периферийных устройств, сделали необратимой тенденцию массовой замены аналоговых систем управления приводами на системы прямого цифрового управления.

Для повышения уровня автоматизации и надежности технологического цикла, обеспечения плавности переходных процессов при пуске и разгоне, необходимо модернизировать устройство автоматического комбинированного управления многодвигательным асинхронным электроприводом [1].

На основании вышеизложенного, при модернизации устройства автоматического комбинированного управления многодвигательного асинхронного электропривода, в цепи статора были введены IGBT-транзисторы вместо тиристорных пар, а в качестве основы цифровой системы управления был использован специализированный микроконтроллер, позволяющий обеспечить необходимое качество регулирования для современной системы управления.

На рисунке 1 приведена модернизированная принципиальная электрическая схема устройства комбинированного управления многодвигательным асинхронным электроприводом, с применением в качестве основы системы управления микропроцессорного средства.

Принципиальная электрическая схема приведенная на рисунке 1 содержит следующие основные элементы [1, 4]: ~380 В – трехфазная электрическая сеть; M1, M2 – асинхронные электродвигатели с фазным ротором; VS1÷VS10 – IGBT-транзисторы, служащие для преобразования и регулирования питающим напряжением; RG1, RG2 – двунаправленные регистры сдвига; UZ1, UZ2 – выпрямители; L1, L3 – сглаживающие пульсации дроссели; R₁, R₃ – добавочные сопротивления; VS11, VS13 – основные тиристоры, в цепи роторов; C1, C2 – конденсаторы; VS12, VS14 – вспомогательные тиристоры, в цепи роторов, подключающие конденсаторы C1, C2 к основным тиристорам; L2, L4 – индуктивности, обеспечивающие колебательный перезаряд конденсатора; U_{п1}, U_{п2} – независимые источники питания конденсаторов C1, C2; VD1, VD3 – диоды служащие для прерывания колебательного разряда конденсаторов C1, C2 от источника подпитки U_{п1}, U_{п2}; R2, R4 – сопротивления, ограничивающие ток подзарядки конденсаторов C1, C2 от независимых источников питания U_{п1}, U_{п2}; VD2, VD4 – диоды ограничивающие ток к источникам U_{п1}, U_{п2}; ОПТ1÷ОПТ14 – оптроны, служащие гальванической развязкой между силовой цепью и микроконтроллером; ТА1, ТА2, ТА3 – датчики тока статора, на основе трансформаторов тока; ТС1, ТС2 – датчики скорости, на основе датчиков напряжения; LCD Display – жидкокристаллический экран.

Система автоматического управления работает следующим образом. При подключении многодвигательного асинхронного электропривода к трехфазной электрической цепи, микропроцессорная система управления начинает плавно подавать к обмоткам статора питающее напряжение, через определенные заданные промежутки времени, одновременно с этим в фазах статора и роторов начинает протекать ток, текущие значения параметров от датчиков тока статора, с помощью блоков согласования тока и датчиков напряжения с помощью блоков согласования напряжений поступают в микропроцессорное средство, в соответствии с полученной информацией, текущие параметры модулей тока статора и напряжения преобразовывают в цифровые коды, на основе которых вычисляют текущее значение скоростей системы электропривода, получив значения скоростей микропроцессор, если есть необходимость формирует сигнал-импульс, обеспечивающий изменение скорости, в соответствии с заданными пределами регулирования, импульс через блоки гальванической развязки подается к силовым вентилям управляющих коммутаторов роторов, если же система электропривода

работает в заданных пределах, то автоматическое средство работает в режиме диагностики [1].

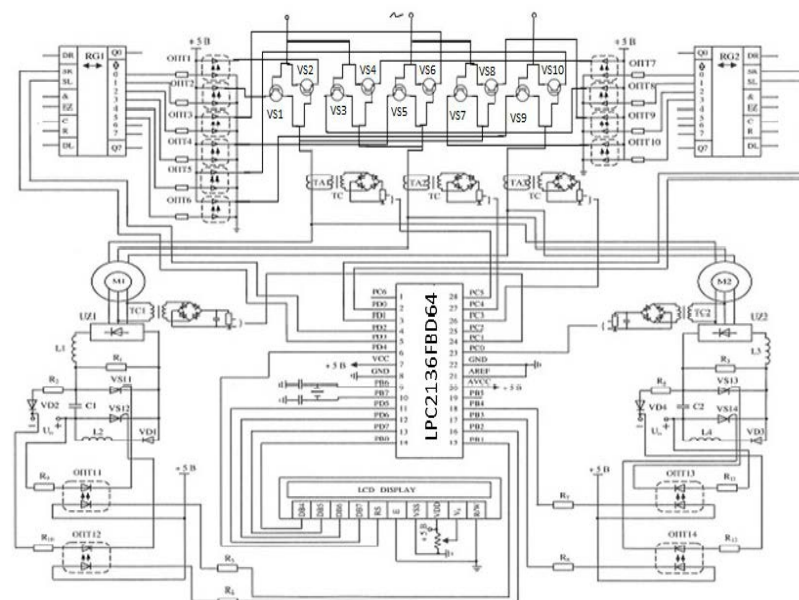


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема устройства микропроцессорного управления многодвигательным электроприводом

Разработанное устройство автоматического комбинированного управления в цепи статора и роторов двигателей – M1, M2, с применением в качестве системы управления микропроцессорного средства, позволяет исключить броски при пуске и обеспечить плавный разгон электродвигателей – M1, M2, регулирование в цепи выпрямленного тока роторов обеспечивает целенаправленное воздействие, при необходимости, на каждый двигатель – M1, M2, по отдельности, что ведет к более точному управлению, приводящему к надежности, синхронизации скоростей вращения и равномерной загрузке электродвигателей – M1, M2.

ВЫВОДЫ

В научной статье приведена модернизированная принципиальная электрическая схема устройства автоматического комбинированного управления многодвигательным асинхронным электроприводом с использованием в цепи статоров IGBT-транзисторов, что позволяет

энергоэффективно преобразовывать и регулировать питающее напряжение и повысить уровень автоматизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Утегулов, Б. Б., Марковский, В. П., Исенов, С. С. Микропроцессорное устройство автоматического комбинированного регулирования двухдвигательным асинхронным электроприводом. // Материалы 2-й Международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации, управления, экономики и подготовки кадров для современных производств». – Бишкек, 2008. – С. 48–51.

2 Бородин, М. Ю., Кириллов, А. В., Ясеньев, Н. Д. Физические основы электроники. // Учебное электронное текстовое издание. Рекомендовано Методическим советом УрФУ. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Информационный портал УрФУ <http://study.urfu.ru>. Екатеринбург, 2015. Электронный формат. Объем 10,69 уч.-издл.

3 Хермвиль, М., Колпаков, А. Управление изолированным затвором IGBT. // Основные положения. Ч.1. «Новости электроники». № 11. 2008.

4 <http://www.atmel.com> – Официальный сайт фирмы «Atmel».

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

С. С. Исенов¹, Ж. С. Исенов², Н. Н. Нуржан³

Микропроцессорлық басқарылатын көп қозғалтқышты электр жетегінің принципті электр сұлбасын әзірлеу

^{1,2,3}Энергетикалық факультеті,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

S. S. Issenov¹, Zh. S. Issenov², N. N. Nurzhan³

Development of the schematic diagram of a multi-motor electric drive with microprocessor control

^{1,2,3}Energy Faculty,

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical university,
Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Ғылыми мақалада көп қозғалтқышты электр жетекті микропроцессорлық басқару жүйесінің принципті электр сұлбасы келтірілген. Техникалық шешімнің жаңалығы статор тізбегінде IGBT-транзисторлары енгізілген, ол қоректік кернеуді түрлендіруге және реттеуге мүмкіндік береді.

The scientific article presents the developed schematic diagram of the microprocessor control system of multi-motor electric drive. The novelty of the technical solution is that the stator circuit introduced IGBT-transistors that allow you to convert and regulate the supply voltage.

С. С. Исенов¹, Ж. С. Исенов², Н. Н. Нуржан³

¹к.т.н., ассоц. профессор, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

²магистр, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

³магистр, Энергетический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан

e-mail: ¹iss_kz@bk.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ НА ОСНОВЕ СЕТИ ПЕТРИ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В научной статье приведено разработанное техническое решение и показано применение сети Петри при разработке алгоритма работы для системы микропроцессорного управления многодвигательным асинхронным электроприводом, что позволяет обеспечить согласованное вращение электродвигателей.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод, алгоритм работы, микропроцессорное средство, математический аппарат, сеть Петри.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство технологических процессов в современном промышленном производстве реализуется с помощью механической энергии, получение которой наиболее удобно посредством электропривода.

В металлургической, станкостроительной и других отраслях промышленности для общепромышленных механизмов, таких как: мостовые краны (механизм передвижения тележки), транспортеры, прокатные станы, учитывая технологические требования и режимы работы целесообразно применение многодвигательного асинхронного электропривода. Это требует использование более сложных методов управления электромеханическими системами, так как два и более электродвигателя должны работать

согласованно на одну нагрузку, что в свою очередь влечет за собой применения новой элементной базы, силовой и управляющей, позволяющей реализовать данные технологические циклы работы.

Постоянное развитие технологий, предъявляет к электроприводу повышенные требования относительно точности движения, как в статике, так и в динамике, быстродействия и надежности. Все эти требования на современном этапе, возможно достичь используя специализированные быстродействующие микропроцессоры (МП) в качестве основы системы управления многодвигательным асинхронным электроприводом, что открывает широкие возможности для создания технически совершенных регулируемых приводов. При этом в виду интенсивного развития электроники и полупроводниковой техники, требуется снижения стоимости на системы управления электроприводом.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для обеспечения согласованного вращения электродвигателей механизма передвижения тележки мостового крана и поддержания определенного заданного соотношения между ними, разработана приведенная на рисунке 1 принципиальная электрическая схема микропроцессорного устройства управления многодвигательным асинхронным электроприводом с применением двунаправленных регистров сдвига и магазинов сопротивлений [1, 2].

Система автоматического управления многодвигательным электроприводом работает следующим образом. Сигналы П11, П12, У21, У22 содержащие информацию о работе электродвигателей – М1, М2 с вторичных обмоток ТА1, ТА2, ТС1, ТС2, с помощью выпрямительных мостов, конденсаторов и резисторов, преобразовываются под требуемый диапазон и текущие значения поступают в МП систему управления.

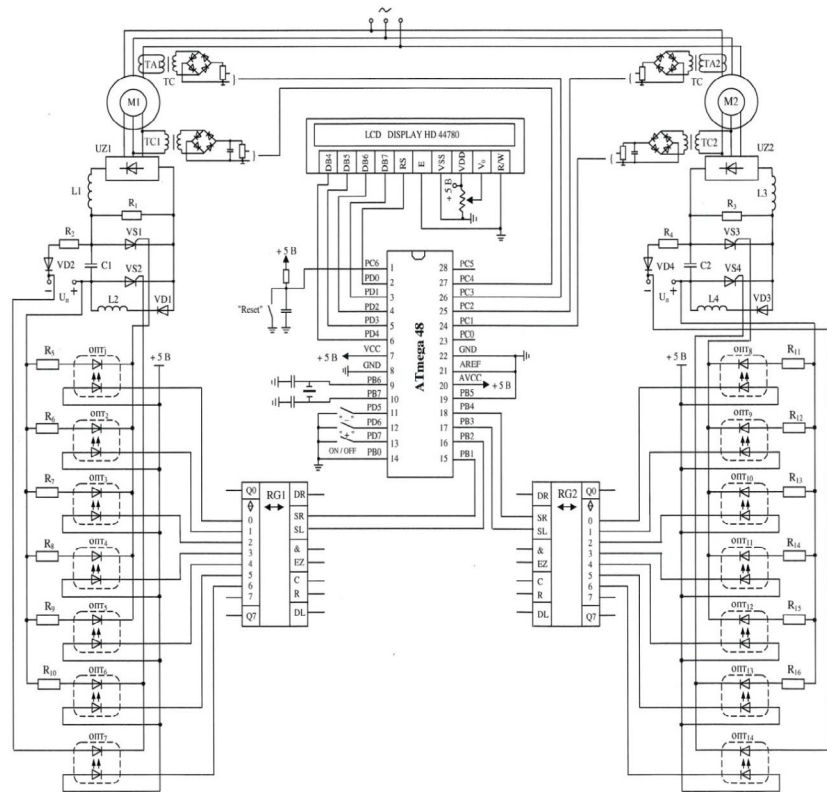


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема микропроцессорного устройства управления многодвигательным асинхронным электроприводом

На вход порта ввода и далее в аналого-цифровой преобразователь (АЦП), поступившие данные АЦП преобразовывает в цифровые коды и с помощью внутренней шины передает их центральному процессору (ЦП), в соответствии с заданной программой ЦП производит вычисление поступивших данных и при необходимости инициирует операцию, которую необходимо выполнить, код операции через внутреннюю шину поступает в широтно-импульсный модулятор (ШИМ). В ШИМ входная координата в виде двоичного кода преобразовывается в координату – скважность включения вентиля и на основе поступивших и обработанных ЦП данных в цепи роторов подключаются сопротивления с заданными значениями на определенный период времени [3].

Для работы микропроцессорного устройства управления многодвигательным асинхронным электроприводом необходимо разработать алгоритм и выбрать математический аппарат на основе которого он будет реализован. Алгоритм работы и математический аппарат будут являться основой при программировании.

Проведя анализ существующих современных математических аппаратов: генетические алгоритмы, Мили и Мура, сеть Петри, учитывая специфику работы автоматической системы управления многодвигательным электроприводом был выбран аппарат сеть Петри. Сеть Петри позволяет проводить моделирование, анализ, синтез и проектирование дискретных систем с параллельно протекающими процессами. Формальная теория сетей Петри занимается разработкой основных средств, методов и понятий, необходимых для применения сетей Петри. Моделирование в сетях Петри осуществляется на событийном уровне, то есть определяются какие действия происходят в системе, какие состояния предшествовали этим действиям, и какие состояния примет система после выполнения действий. Выполнение событийной модели в сетях Петри описывает поведение системы [4, 5].

Для принципиальной электрической схемы приведенной на рисунке 1 разработан алгоритм работы для микропроцессорного устройства управления многодвигательным асинхронным электроприводом приведенный на рисунке 2.

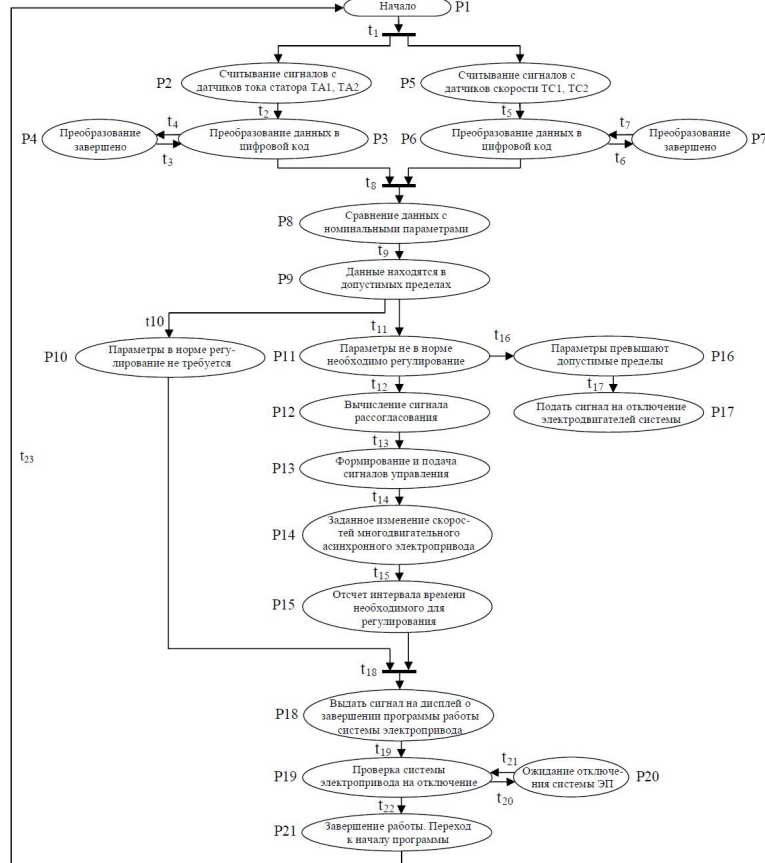


Рисунок 2 – Алгоритм работы для микропроцессорного устройства управления многодвигательным асинхронным электроприводом

При моделировании в сетях Петри места символизируют какое-либо состояние системы, а переходы символизируют какие-то действия, происходящие в системе. Система, находясь в каком-то состоянии, может порождать определенные действия, и наоборот, выполнение какого-то действия переводит систему из одного состояния в другое. Текущее состояние системы определяет маркировка сети Петри, то есть расположение меток в местах сети. Выполнение действия в системе, в сетях Петри определяется как срабатывание переходов. Срабатывание переходов порождает новую маркировку, то есть порождает новое размещение меток в сети.

На основе алгоритма разработана сеть Петри для системы микропроцессорного управления многодвигательным асинхронным электроприводом (рисунок 3).

Сеть Петри представляет собой ориентированный граф

$$C = (T, P, F, M_0), \tag{1}$$

где $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}, n > 0$ – конечное множество переходов;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}, m > 0$ – конечное множество позиций;

$F : P \times T \cup P \times T \rightarrow (\emptyset, 1)$ – функция инцидентности, указывающая наличие дуг, связывающих места с переходами и переходы с местами;

$M_0 : P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ – начальная маркировка.

Вследствие наличия параллельных процессов сеть Петри представленная на рисунке 3, имеет сложную структуру. В таких случаях возможно применение декомпозиции сети Петри, так как при наличии параллелизма количество состояний сети растет в геометрической прогрессии с увеличением количества позиций каждой ветви.

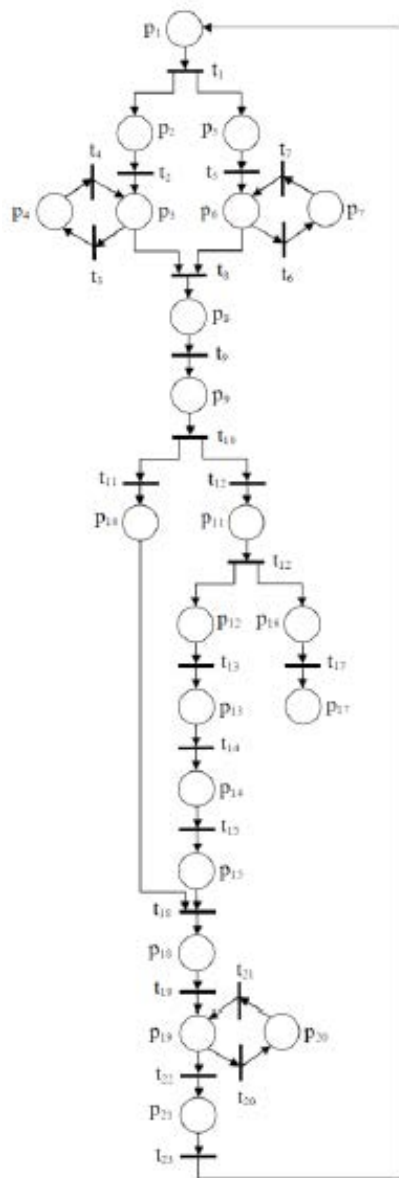


Рисунок 3 – Сеть Петри системы микропроцессорного управления многодвигательным асинхронным электроприводом

Декомпозиция позволяет: уменьшить количество и сложность синтезируемых логических последовательностей; обеспечить наиболее эффективную реализацию этих последовательностей в распределенных вычислительных системах.

С применением декомпозиции каждая ветвь рассматривается как отдельная подсеть. Результатом декомпозиции является набор подсетей и сеть, координирующая запуск подсетей. В результате декомпозиции сети Петри системы микропроцессорного управления многодвигательным асинхронным электроприводом, примет вид функциональных подсетей исходной сети Петри.

После того, как иерархическая сеть Петри сформирована и определены ее подсети, производится анализ полученных подсетей, количество состояний и наличие тупиков.

ВЫВОДЫ

В работе приведена разработанная принципиальная электрическая схема микропроцессорного управления многодвигательным асинхронным электроприводом. Показано применение сети Петри при разработке алгоритма работы для автоматического управления электромеханической системой. Это позволяет повысить уровень автоматизации и надежности, обеспечить согласованное вращение электродвигателей, точность регулирования технологических параметров при оптимальном расходе энергии и эффективном использовании возможностей многодвигательного электропривода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Исенов, С. С.** Разработка принципиальной схемы устройства автоматического регулирования двухдвигательным асинхронным электроприводом. // I МНПК «Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения». – Санкт-Петербург–Чита, 2008. – № 3. – Т.13. – С. 96–98.

2 **Утегулов, Б. Б., Сагитов, П. И., Исенов, С. С.,** Много-двигательный асинхронный электропривод. Инновационный патент на изобретение № 12-3/1627. Заявка № 2008/0715.1. / – Астана, 2008. – 4 с.

3 **Исенов, С. С.** Способ автоматического импульсного регулирования двухдвигательного асинхронного электропривода с применением двунаправленных регистров сдвига и магазинов сопротивлений. // Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева. – Астана, 2008. – №6. – С. 5–9.

4 **Котов, В. Е.** Сети Петри. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.

5 **Петерсон, Дж.** Теория сетей Петри и моделирование систем. / Пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 264 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

С. С. Исенов¹, Ж. С. Исенов², Н. Н. Нуржан³

Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін басқарудың микропроцессорлық құралдарына арналған Петри желісі негізінде жұмыс алгоритмін әзірлеу

^{1,2,3}Энергетикалық факультеті,

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

S. S. Issenov¹, Zh. S. Issenov², N. N. Nurzhan³

Development of an algorithm based on the Petri net for microprocessor control of multi-motor asynchronous electric drive

^{1,2,3}Energy Faculty,

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical university,

Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Ғылыми мақалада әзірленген техникалық шешім келтірілген және көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін микропроцессорлық басқару жүйесі үшін жұмыс алгоритмін жасау кезінде Петри желісінің қолданылуы көрсетілген, бұл электр қозғалтқыштардың келісілген айналуын қамтамасыз етеді.

The scientific article presents the developed technical solution and shows the use of the Petri net in the development of the algorithm for the microprocessor control system of multi-motor asynchronous electric drive, which allows for consistent rotation of electric motors.

ГРНТИ 44.01.11

Н. А. Исупова¹, К. К. Нуkenov²

¹доктор PhD, ассоц. профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: ¹natahaisu@mail.ru; ²nukenov_kuanysh@mail.ru

АНАЛИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В КАЗАХСТАНЕ

Поскольку использование традиционных источников энергии приводит к негативным последствиям, таким как изменения климата из-за выбросов углекислого газа и сбросов в водоемы большого количества низкопотенциального тепла, загрязнение окружающей среды из-за выбросов вредных веществ в атмосферу. А так же истощение природных ресурсов Земли. Использование возобновляемых источников энергии поможет значительно уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Энергетика возобновляемых источников в отличие от традиционной энергетики, базируется не на запасах вещества, а на природных потоках энергии (потоки солнечной радиации, потоки ветра, волны). Длительность этих потоков соизмерима с длительностью существования планеты Земля. И техническая задача построения энергетики человечества состоит в обеспечении подобной длительности. В статье описаны основные виды возобновляемых источников энергии. Для каждого вида возобновляемых источников энергии дана краткая характеристика, а так же описаны их достоинства и недостатки. Рассмотрены перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории республики Казахстан.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, возобновляемые источники энергии, энергетика Казахстана.

ВВЕДЕНИЕ

Использование традиционных источников энергии приводит к истощению природных ресурсов земли, загрязнению окружающей среды и

изменению климата из-за выбросов парниковых газов в атмосферу. Поэтому во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию в качестве источников энергии альтернативных источников энергии.

Альтернативные источники энергии – это возобновляемые источники энергии (ВИЭ) такие как солнечная энергия, энергия ветра, энергия биомассы, энергия малых рек, геотермальная энергия, энергия приливов, волновая энергия, а также энергия, определяемая разностью температур по глубине океана. Все перечисленные источники, кроме геотермальной энергии и энергии приливов относят к ВИЭ солнечного происхождения. Кроме того, к ВИЭ относятся различные отходы и источники низкопотенциального тепла в сочетании с тепловыми насосами.

К основным преимуществам ВИЭ являются неисчерпаемость или возобновляемость, экологическая чистота и повсеместная доступность того или иного ВИЭ.

К недостаткам ВИЭ, ограничивающим их широкое применение, относят малую плотность энергетических потоков и их непостоянство во времени. [1]

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Геотермальная энергия это энергия, содержащаяся в недрах земли, используется при производстве тепловой и электрической энергии и представляет собой физическое тепло глубинных слоев земли, имеющих температуру, превышающую температуру воздуха на поверхности. В качестве носителей этой энергии могут выступать как жидкие флюиды (вода и/или пароводяная смесь), так и сухие горные породы, расположенные на соответствующей глубине.

Геотермальные ресурсы подразделяют на гидрогеотермальные и петрогеотермальные. Гидрогеотермальные ресурсы являются частью ресурсов геотермальной энергии, которая заключена в естественных коллекторах и представлена природными динамическими носителями тепловой энергии недр – геотермальными водами (водой, паром, пароводяными смесями). Петрогеотермальные ресурсы представляют собой часть тепловой энергии, которая заключена в скелете водовмещающих пород и в практически водонепроницаемых сухих горных породах.

Из всех пригодных для использования геотермальных ресурсов на долю термальных вод приходится чуть более 1 %, и соответственно около 99 % – на петрогеотермальные ресурсы [1].

Направления использования геотермальных ресурсов зависят от тепловых потенциалов термальных вод.

Термальные воды с температурой до 100 °С являются низкопотенциальными геотермальными ресурсами. Они могут использоваться по следующим направлениям:

– коммунальное хозяйство (для отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных зданий, бань, плавательных бассейнов, хладоснабжения);

– сельское хозяйство (снабжение водой животноводческих комплексов, тепловое орошение, отопление теплично-парниковых комбинатов, для интенсификации рыборазведения);

– в технологических целях (сушка фруктов, чайного листа и т.д.);

– теплоснабжение промышленных предприятий (рудников, приисков);

– извлечение ценных химических элементов и соединений (йода, брома, стронция, рубидия, цезия, лития и др.).

Вторая категория геотермальных ресурсов – это термальные воды и парогидротермы с температурой 100–150 °С. Это тепло наиболее эффективно для использования во многих отраслях народного хозяйства. Оно применяется также для получения электрической энергии на установках, работающих на низкокипящих рабочих жидкостях (изобутане, фреоне и т.д.). В дальнейшем они могут быть использованы как термальные воды низкопотенциального типа в технологических или теплофикационных целях.

И наконец, парогидротермы с температурой 150–200 °С могут найти применение для получения электрической энергии [2].

Геотермальные электростанции (ГеоТЭС) обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционной энергетикой:

– отсутствием котельного оборудования;

– отсутствием затрат на топливо;

– возможностью использования энергоносителя низкого давления;

– простота управления;

– постоянной выходной мощностью в течение года, а следовательно, высокий коэффициент использования ГеоТЭС (в отличие от других возобновляемых источников).

Но кроме положительных свойств ГеоТЭС имеют и отрицательные свойства. Так известно негативное влияние ГеоТЭС на окружающую среду. К нему относят:

– выброс вредных газов и химических веществ;

– трудности с ликвидацией отработанного рассола;

– просадка почвы вследствие отбора воды из подстилающих пород;

– вероятность стимулирования землетрясений в результате гидравлического разрыва пласта (или обратного закачивания рассола);

– сильный шум, создаваемый паром при расширении в испарительных камерах с мгновенным вскипанием или в теплообменниках.

Солнечная энергетика основана на поглощении солнечной радиации либо непосредственно, либо после оптической концентрации светового

потока на малом приемнике. Данный вид энергетики основывается на преобразовании электромагнитного солнечного излучения в электрическую или тепловую энергию.

Работа по преобразованию солнечной энергии в тепловую ведется в следующих основных направлениях:

- получение низкопотенциальной (с температурой ниже 100 °С) теплоты в основном для бытовых нужд (горячего водоснабжения, отопления и др.).
- получение средне- и высокопотенциальной теплоты (с температурой выше 100 °С) для различных технологических процессов.

Устройства, предназначенные для получения тепловой энергии при воздействии солнечной радиации, известны под названием гелиоприемников или коллекторов [2].

Системы солнечного низкотемпературного отопления (системы получения низкопотенциальной теплоты) в зависимости от способа использования солнечной радиации подразделяют на пассивные и активные [3].

Пассивными называют системы солнечного отопления, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в тепло, служат само здание или его отдельные ограждения (здание – коллектор, стена – коллектор, кровля – коллектор).

Активными называют системы солнечного низкотемпературного отопления, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию. Активные гелиосистемы могут быть подразделены по следующим признакам:

- назначению (системы горячего водоснабжения, отопления, комбинированные системы для целей теплоснабжения);
- виду используемого теплоносителя (жидкостные – вода, антифриз и воздушные);
- продолжительности работы (круглогодичные, сезонные);
- техническому решению схем (одно-, двух-, многоконтурные).

Температура теплоносителя в рассмотренных гелиосистемах редко превышает 100 °С. Значительно более высокую температуру теплоносителя (свыше 100 °С) можно получить, используя концентраторы солнечной энергии или коллекторы. Концентраторы представляют собой параболоцилиндрические или плоские зеркала, направляющие солнечные лучи на коллектор, заполненный теплоносителем. Концентраторы направляют излучение, поступающее внутри широкого угла, на небольшую собирающую поверхность, тем самым увеличивая плотность солнечной радиации на поверхности, поглощающей энергию. [2]

Получение электрической энергии используя солнечное излучение возможно несколькими способами. Рассмотрим фотоэлектрическое или фотовольтаическое преобразование солнечной энергии в электричество.

Первыми фотоэлектрическими элементами или элементами первого поколения стали элементы на основе кристаллического кремния и на основе германия. На данный момент они составляют 90 % всего рынка производства коммерческих СЭ и обладают в среднем КПД около 20 %.

Элементы второго поколения изготавливаются из аморфного, микрокристаллического или поликристаллического кремния, многокомпонентных полупроводников группы A_3B_5 (GaP, InP, GaAs) и A_2B_6 (CdTe), а также многокомпонентных полупроводников группы CIS ($CuInS_2$), CIGS ($Cu(In,Ga)(Se,S)_2$) и CZTS ($Cu_2ZnSn(S,Se)_4$).

Многие солнечные батареи на основе таких СЭ являются гибкими или пластичными тонкими плёнками и могут размещаться на неплоских поверхностях. Эти достоинства привели к бурному развитию СЭ второго поколения как на основе кремния, так и на основе многокомпонентных полупроводников.

СЭ второго поколения имеют среднее КПД в 15 % и заняли 10 % рынка.

Они имеют следующие недостатки: зависимость работы от условий окружающей среды (необходимость очистки от снега и загрязнений, снижение выходной мощности при освещении рассеянным светом), нестабильность СЭ на основе аморфного кремния, а так же отсутствие ясности в вопросе о том, на какие именно материалы надо ориентироваться крупным инвесторам.

СЭ третьего поколения – это довольно широкий класс элементов на основе проводящих полимеров, в том числе органических, СЭ на основе пигментов (органических красителей) и органонеорганических полупроводников, а также квантовых точек, СЭ на горячих электронах и, наконец, СЭ с разделением солнечного спектра. К последним относятся так называемые каскадные, или многопереходные СЭ. Они имеют КПД 45–46 % и создаются из наиболее высококачественных материалов. Стоимость их изготовления очень высока, поэтому они применяются в основном для электропитания космических аппаратов и не могут конкурировать с другими СЭ при использовании в гражданских, и тем более в бытовых, целях.

Таким образом, солнечная энергетика имеет следующие достоинства: экологическая безопасность установок; неисчерпаемость источника энергии в далекой перспективе; низкая себестоимость получаемой энергии; доступность производства энергии; хорошие перспективы развития отрасли, обусловленные развитием технологий и производством новых материалов с улучшенными характеристиками.

Недостатками солнечной энергетики являются: прямая зависимость количества вырабатываемой энергии от погодных условий, времени суток и времени года; сезонность работы, которую определяет географическое расположение; низкий КПД; высокая стоимость оборудования.

Получение электрического тока с помощью фотовольтаики имеет следующие недостатки: высокая стоимость производства, токсичность процесса изготовления, большое количество токсичных отходов.

Водородная энергетика. В качестве энергоносителя может использоваться водород, который имеется повсюду в мире, но не встречается в чистом виде. Водород используется как топливо. Он может быть преобразован в другие формы энергии (механическую и электрическую) более эффективно, чем другие виды топлива. Например, в автомобилях его КПД составляет 60 %, в то время как эффективность бензина – всего 25 %. [1] Электричество может быть получено из водорода тремя путями – с использованием газовой турбины, паровой турбины и топливного элемента.

Водород можно получить следующими способами:

- из углеводородных соединений – конверсия природного газа, метанола, дизельного топлива, бензина и пр.; газификация угля;

- из воды:

- электролиз – разложение воды с образованием газообразного водорода и кислорода при пропускании через воду электрического тока;

- разложение воды гидрореагирующими металлами – алюминий, магний, железо.

- из гидридов и боргидридов металлов.

А так же водород можно получить:

- с использованием ядерной энергии;

- с использованием возобновляемых источников энергии, например, электролизом воды за счет энергии солнца, ветра, гидроэнергии;

- за счет переработки биомассы;

- как побочный продукт некоторых производств, например, при электрохимическом получении хлора.

Достоинства водородной энергетики:

- запасы водорода практически не ограничены;

- водород является универсальным видом энергоресурса, он может использоваться в качестве горючего для производства электричества в рабочих циклах различного типа;

- использование водорода позволит аккумулировать энергию;

- водород обладает наибольшей теплотворной способностью на единицу массы;

- не вызывает парниковый эффект;

- наименьшее количество вредных выбросов;

- высокий КПД.

Недостатки водородной энергетики: [5]

- трудности связанные с получением водорода (большие энергозатраты при получении водорода из газа, высокая себестоимость водорода при получении его из воды электролизом);

- трудности с упаковкой и перевозкой.

Ветроэнергетика основана на преобразовании в электроэнергию части кинетической энергии потока воздуха в атмосфере. [1]

Ветер, как источник энергии, характеризуется, прежде всего, скоростью. Скорость ветра в данном месте очень непостоянная величина. Для нее характерны быстрые изменения (порывы) и медленные (погодные, суточные, сезонные). Поэтому район предполагаемого строительства ВЭУ характеризуют среднегодовой скоростью ветра.

Для систематизации характеристик ветровой обстановки в конкретном регионе в целях ее эффективного энергетического использования разрабатывается ветроэнергетический кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить его энергетическую ценность, а также оптимальные параметры и режимы работы ветроэнергетических установок.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;

- повторяемость скоростей;

- максимальная скорость ветра;

- распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;

- удельная мощность и удельная энергия ветра;

- ветроэнергетические ресурсы региона.

При определении ресурсов ветровой энергии учитываются валовый, технический и экономический потенциалы.

Валовый (теоретический) потенциал ветровой энергии региона – это среднесуточная суммарная ветровая энергия движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования.

Технический потенциал ветровой энергии региона – это суммарная электрическая энергия, которая может быть получена в регионе от использования валового потенциала ветровой энергии при современном уровне развития технических средств и соблюдении экологических ограничений.

Экономический потенциал ветровой энергии региона – это величина годового поступления электрической энергии в регионе от использования

ветроэлектрических установок, получение которой экономически оправдано при существующем уровне цен на производство, транспортировку и потребление энергии и топлива и соблюдении экологических норм.

К достоинствам ветровой энергии, прежде всего, следует отнести:

– доступность, повсеместное распространение и практически неисчерпаемость ресурсов.

Основное препятствие к использованию ветровой энергетике – непостоянство его скорости, а следовательно, и энергии во времени. [1]

Под **малой гидроэнергетикой** понимают производство электроэнергии при помощи гидротурбин разной мощности, устанавливаемых на постоянных водотоках. Как правило, создание гидроэлектростанции (ГЭС) требует возведения плотины, в которой устанавливаются гидротурбины, но возможно также создание бесплотинных ГЭС.

Под микроГЭС подразумевают станции мощностью до 100 кВт, а под малыми (МГЭС) – общей установленной мощностью до 30 МВт с мощностью единичного гидроагрегата до 10 МВт и диаметром рабочего колеса гидротурбины до 3 м. В большинстве случаев предполагается, что МГЭС устанавливаются на малых реках и водотоках.

К экономическим, экологическим и социальным преимуществам объектов малой гидроэнергетики можно назвать следующие. Их создание повышает энергетическую безопасность региона, обеспечивает независимость от поставщиков топлива, находящихся в других регионах, экономит дефицитное органическое топливо. Сооружение подобного энергетического объекта не требует крупных капиталовложений, большого количества энергоемких строительных материалов и значительных трудозатрат, относительно быстро окупается.

В процессе выработки электроэнергии ГЭС не производит парниковых газов и не загрязняет окружающую среду продуктами горения и токсичными отходами. Подобные объекты не являются причиной наведенной сейсмичности и сравнительно безопасны при естественном возникновении землетрясений. Они не оказывают отрицательного воздействия на образ жизни населения, на животный мир и местные микроклиматические условия.

Проблемой малых ГЭС является возможность их выхода из строя, в результате чего потребители остаются без энергоснабжения. Решением проблемы является создание резервных генерирующих мощностей – ветроагрегата, когенерирующей мини-котельной, фотоэлектрической установки и т.п.

Существует определенная сезонность в выработке электроэнергии, когда в зимний и летний периоды в силу снижения расхода на водотоке мощность МГЭС значительно уменьшается. [1]

Энергия биомассы. Под биомассой подразумевают все органические вещества растительного и животного происхождения. К органическим веществам, которые могут быть использованы для получения энергии относят древесину, отходы ее переработки, имеющие доминирующее значение, продукцию сельского хозяйства, а также отходы ее переработки.

Все эти вещества можно классифицировать по источнику происхождения (растительная, животная) и стадии использования (первичная, вторичная).

Биомасса обладает рядом существенных преимуществ как ВИЭ. К ним можно отнести:

- распространенность и доступность;
- всесезонность;
- возможность получения различных конечных продуктов (кроме традиционного сжигания с получением электроэнергии и тепла можно получать синтез-газ, бионефть, этанол, биогаз, биоводород);
- снижение антропогенной нагрузки на окружающую природную среду.

Коммерческое энергетическое использование биомассы в основном ориентировано на отходы лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, а также сельскохозяйственные отходы (солома, жмых, лузга и т.п.).

Современная промышленная биоэнергетика представлена различными технологиями:

- термохимическими: прямое сжигание – получение тепловой и электрической энергии; производство пеллет – получение тепловой и электрической энергии, «синтез-газа», водорода, жидких нефтеподобных углеводородов; газификация – получение «синтез-газа», водорода, тепловой и электрической энергии; фаст-пиролиз – получение жидких углеводородов; синтез – получение метанола;

- биотехнологиями: производство биоэтанола – энергоснабжение транспорта; производство биодизельного топлива – энергоснабжение транспорта; производство биоводорода – энергоснабжение транспорта, получение тепловой и электрической энергии; производство биогаза – энергоснабжение транспорта, получение тепловой и электрической энергии.

Преимущества электростанций на биомассе:

- не загрязняет атмосферу при ответственной переработке биомассы в энергию двуокись углерода (CO_2), поскольку новые растения в процессе роста поглощают всю двуокись углерода, выделяющуюся во время сжигания топлива;
- при использовании топлива, полученного из биомассы, выделяется незначительное количество загрязняющих атмосферу окислов серы (SO) даже в случае прямого сжигания этого топлива;

– независимость работы от природных условий, т.е. возможна непрерывная работа электростанций на биотопливе;

– возможность производить метан на небольших компостных установках, без необходимости использования централизованных источников. Что способствует обеспечению энергобезопасности, так как позволяет рассредоточить энергетические ресурсы, что снижает риски от природных катастроф и воздействия «человеческого фактора»;

– возможность формирования пригодную для обитания диких животных среду некоторыми растениями – источниками древесной биомассы

Недостатки электростанций на биомассе

– сжигание биомассы все же приводит к выбросу некоторого количества различных (в зависимости от типа используемой биомассы) загрязняющих атмосферу веществ;

– неконтролируемая заготовка топлива из биомассы для электростанций наносит вред природе;

– транспортировка биомассы к компостным заводам или топкам сопровождается потреблением энергии – обычно в форме природного топлива для грузовиков и поездов;

– производство биогаза путем компостирования может сопровождаться неприятными запахами. Существуют также опасения, что без должного контроля этот процесс может привести к размножению и распространению болезнетворных микроорганизмов;

– контейнеры, в которых хранится биогаз, требуют регулярных проверок и сертификации, проводимой квалифицированным и лицензированным персоналом. Это может быть неудобно и затратно, но является строжайшим условием эксплуатации таких контейнеров, обеспечивающим безопасность людей, живущих и работающих рядом с хранилищами биогаза. [6]

Согласно Концепции развития топливно-энергетического комплекса РК до 2030 года наиболее перспективными ВИЭ являются:

– гидроэнергетика. Теоретический гидропотенциал республики составляет около 170 млрд. кВтч, при этом экономически эффективно может вырабатываться 27-30 млрд. кВтч. Наиболее перспективными для гидроэнергетического строительства являются реки следующих регионов: Или, Чарын, Чилик, Каратал, Коксу, Тентек, Хоргос, Текес, Талгар, Большая и Малая Алматинки, Усек, Аксу, Лепсы, Ырғайты. [7]

– ветроэнергетика. В республике наиболее значительным из всех ВИЭ является потенциал ветроэнергии. Теоретический возможный потенциал оценивается от 0,929 до 1,82 млрд. кВтч в год. Экономически возможный – 3 млрд. кВтч в год. Ветрогенерация может дать электричества в 10–20 раз больше, чем необходимо Казахстану (даны разные оценки ветропотенциала).

Пока реализована мизерная часть этого потенциала. Счет идет на десятки кВт. [8] Перспективными районами для развития ветроэнергетики являются Алматинская область, это – Джунгарские ворота (17 тыс. кВт/ч на кв. м), Шелекский коридор, Акмолинская (Ерейментау), Жамбылская (Кордай) области и другие регионы. [8]

– гелиоэнергетика. В Казахстане имеются благоприятные климатические условия для развития солнечной электроэнергетики. По данным экспертов, количество солнечных часов составляет 2200-3000 в год, энергия солнечного излучения – 1300-1800 кВт на 1 м² в год. Наиболее подходящими местами для размещения солнечных электростанций являются Южно-Казахстанская, Кызылординская области и район Приаралья [7].

ВЫВОДЫ

Экологическая ситуация во многих районах РК на сегодняшний день такая, что существует необходимость значительную часть топливно-энергетического комплекса переводить на возобновляемые источники энергии. Это позволит не только улучшить экологическую обстановку республики но и сохранить природные ресурсы. В данной статье описаны основные виды возобновляемых источников энергии и выполнен их анализ, который показал, что переход на ВИЭ не должен быть хаотичным и бездумным. Ему должны предшествовать предварительные исследования местности и расчеты целесообразности. В большинстве регионов РК наиболее предпочтительными ВИЭ являются гидроэнергетические, ветроэнергетические и гелиоэнергетические.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Алахасов, А. Б.** Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 271 с.

2 **Баранов, Н. Н.** Нетрадиционные возобновляемые источники и методы преобразования их энергии. – М. : Издательство МЭИ, 2011 г.

3 Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / под ред. П. П. Безруких. СПб. : Наука, 2002. – 314 с.

4 **Миличко, В. А., Шалин, А. С., Мухин, И. С., Ковров, А. Э., Красилин, А. А., Виноградов, А. В., Белов, П. А., Симовский, К. Р.** Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития // Успехи физических наук – 2016. – № 8. – С. 801–852.

5 **Полякова, Т. В.** Состояние и перспективы развития водородной энергетики // Вестник МГИМО Университета – 2012. – № 8. – С. 156–164.

6 <http://www.enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-elektrostantsiy-na-biomasse.html>

7 **Жолдасбек, А. Е.** Возобновляемая энергетика Казахстана и Китая <http://pps.kaznu.kz/ru/Main/FileShow2/94751/131/2/12/0//>

8 **Трофимов, Г. Г.** Анализ развития и распространения передовых технологий в области энергоэффективности и возобновляемой энергетике в Казахстане / Проект Европейской Экономической Комиссии ООН – Алматы.: 2012. – 49 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Н. А. Исупова¹, К. К. Нукенов²

Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерін талдау және оларды дамыту перспективалары

^{1,2}Энергетика факультеті,

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

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

N. A. Isupova¹, K. K. Nukenov²

Analysis of renewable energy sources and their prospects of development in Kazakhstan

^{1,2}Faculty of Energy Engineering,

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

Material received on 12.06.19.

Дәстүрлі энергия көздерін пайдалану көміртегі диоксиді шығарындыларының салдарынан климаттың өзгеруі және су объектілеріне төмен деңгейлі жылу шығарындылары, атмосфераға шығарылатын зиянды заттардың қоршаған ортаның ластануы сияқты теріс салдарға алып келеді. Жердегі табиғи ресурстардың сарқылуы сияқты. Жаңартылатын энергия көздерін пайдалану қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға мүмкіндік береді. Жаңартылатын энергия дәстүрлі энергиямен салыстырғанда, заттың қорына негізделмейді, бірақ табиғи энергия ағымдарына (күн радиациясының ағындары, жел ағындары, толқындар) негізделеді. Бұл ағындардың ұзақтығы Жер планетасының өмір сүру ұзақтығымен теңестіріледі. Адамзаттың энергиясын құрудың техникалық міндеті осындай ұзақтығын қамтамасыз ету

болып табылады. Мақалада жаңартылатын энергия көздерінің негізгі түрлері сипатталады. Жаңартылатын энергия көздерінің әрбір түрі үшін қысқаша сипаттамасы беріледі, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері де сипатталады. Қазақстан Республикасының аумағында жаңартылатын энергия көздерін дамыту перспективалары қарастырылады.

Since the use of traditional energy sources leads to negative consequences, such as climate change due to carbon dioxide emissions and discharges of large amounts of low-grade heat into water bodies, environmental pollution due to emissions of harmful substances into the atmosphere. As well as depletion of natural resources of the earth. The use of renewable energy sources will help to significantly reduce the negative impact on the environment. Renewable energy, in contrast to traditional energy, is not based on substance reserves, but on natural energy flows (solar radiation flows, wind flows, waves). The duration of these flows is commensurate with the duration of the existence of the planet Earth. And the technical task of building the energy of humanity is to ensure such a duration. The article describes the main types of renewable energy sources. For each type of renewable energy sources, a brief description is given, and their advantages and disadvantages are also described. The prospects for the development of renewable energy sources in the territory of the Republic of Kazakhstan are considered.

Н. А. Исупова¹, А. Д. Аязбаева²

¹доктор PhD, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹natashaisu@mail.ru; ²alfiyaad@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ

Геотермальные месторождения – перспективный источник энергии будущего. Их месторождения для производства электрической энергии освоены в 60 странах мира. Геотермальные запасы в Казахстане на порядок больше суммарных запасов нефти и газа страны, вместе взятых. В мире существуют три схемы освоения термальных вод в качестве энергоисточников, используемые наземными геотермальными энергоустановками. В данной статье предложен принцип работы подземной геотермальной установки. Ее отличительные особенности: производство электрической энергии в местах залегания термальных вод, конструкция скважин, способы парообразования и передачи энергии на поверхность земли. Расширяются условия использования и технологические возможности энергоустановок, достижения высоких энергетических характеристик.

Ключевые слова: геотермальная установка, геотермальные месторождения, бурение, скважина.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие использование альтернативных источников энергии переживает в мире настоящий бум. Масштаб применения этих источников возрос в несколько раз. Данное направление развивается наиболее интенсивно по сравнению с другими направлениями энергетики. Связано это с тем, что эпоха дешевых традиционных энергоносителей бесповоротно закончилась. В этой области имеется только одна тенденция – рост цен на все их виды. Не менее значимо стремление многих стран, лишенных своей топливной базы к энергетической независимости.

Существенную роль играют экологические соображения, в том числе по выбросу вредных веществ.

По этим причинам развитие альтернативных источников энергии во многих государствах приоритетная задача технической политики в области энергетики. В ряде стран эта политика реализуется через принятую законодательную и нормативную базу, в которой установлены правовые, экономические и организационные основы использования возобновляемой энергии.

Казахстан входит в число мировых лидеров по разнообразию и количеству полезных ископаемых. Поскольку наиболее значимыми для экономики страны являются нефть, газ, уголь и другие полезные ископаемые, законодательная база в этих секторах экономики высокоразвита. Исторически правительство было менее сосредоточено на развитии альтернативной энергетики. Однако недавний кризис в мировой экономике и осознание необходимости снижения энергоемкости экономики и воздействия на окружающую среду заставили руководство страны активно сосредоточиться на создании благоприятных условий для использования возобновляемых источников энергии. В рамках концепции перехода Казахстана к «зеленой экономике», к 2030 году долю альтернативных источников энергии планируется увеличить до 30 %, а к 2050 довести до 50 %. Предполагается, что это даст не только экологический эффект, но и повысит конкуренцию среди энергопроизводителей. А значит, будут снижаться и тарифы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одно из перспективных направлений развития альтернативной энергетики – геотермальная энергетика. Причем стоимость этой энергии вдвое дешевле стоимости ветровой энергии и в 8–10 раз дешевле солнечной [1].

Геотермальная энергетика – производство электроэнергии, а также тепловой энергии за счёт энергии, содержащейся в недрах земли.

Преимуществом геотермальной энергетики является ее практически полная безопасность для окружающей среды. Количество CO₂, выделяемого при производстве 1 кВт электроэнергии из высокотемпературных геотермальных источников, составляет от 13 до 380 г (например, для угля он равен 1042 г на 1 кВт/ч).

Существуют следующие принципиальные возможности использования тепла земных глубин. Воду или смесь воды и пара в зависимости от их температуры можно направлять для горячего водоснабжения и теплоснабжения, для выработки электроэнергии, либо одновременно для всех этих целей.

Большая часть поверхности нашей планеты обладает значительными запасами геотермальной энергии вследствие значительной геологической деятельности: активной вулканической деятельности в начальные периоды развития нашей планеты, а также и по сей день, радиоактивного распада, тектонических сдвигов и наличия участков магмы в земной коре. В некоторых местах нашей планеты скапливается особенно много геотермальной энергии. Это, например, различные долины гейзеров, вулканы, подземные скопления магмы, которые в свою очередь нагревают верхние породы [2].

Говоря простым языком, геотермальная энергия – это энергия внутренних областей Земли. Например, извержение вулканов наглядно свидетельствует об огромной температуре внутри планеты. Эта температура постепенно снижается от горячего внутреннего ядра до поверхности Земли (рисунок 1).



Рисунок 1 – Температура в различных слоях земли

Сегодня насчитывается 5 типов источников геотермальной энергии:

- месторождения геотермального сухого пара;
- источники влажного пара (смеси горячей воды и пара);
- месторождения геотермальной воды (содержат горячую воду или пар и воду);
- сухие горячие скальные породы, разогретые магмой;
- магма (расплавленные горные породы, нагретые до 1300 °С) [3].

Разведка и эксплуатация геотермальных месторождений ведется в 70 странах мира. Первая геотермальная электростанция, действующая до

сегодняшнего времени, была построена в 1904 г. в Италии. Позже такие электростанции появились в Исландии, Голландии, Дании, Франции, Китае, Мексике, Израиле, России и т.д. Лидирующие позиции в использовании геотермальных источников занимают США, Филиппины, Индонезия, Италия, Новая Зеландия, Япония, Исландия.

Казахстан обладает значительными ресурсами геотермальной воды со средней и низкой температурой. Геотермальное месторождение, недалеко от города Чимкент, с температурой воды 80°C, используется для теплоснабжения жилых домов. Рядом с городом Алматы геотермальный источник с температурой 80–120 °С используется для отопления теплиц зимой и кондиционирования летом. Оценка геотермальных ресурсов была проведена на основании изучения многочисленных скважин, пробуренных для разведки и добычи нефти и газа. Наиболее перспективные геотермальные резервуары были обнаружены в меловых образованиях на юге и юго-западе Казахстана. Геотермальные месторождения вскрыты разведочными скважинами до глубины 3500 м в Илийском, Сырдарьинском, Иртышском, Прикаспийском, Мангышлак-Устюртском, Шу-Сарысуском и Зайсанском артезианских бассейнах. Распределение их по регионам Казахстана условного топлива, млрд. т: Западный Казахстан – 75,9 (78,2 %); Южный Казахстан – 15,6 (16 %); Центральный Казахстан – 5,3 (5,5 %); Северный Казахстан – 0,3 (0,03 %) и Восточный Казахстан – 0,003. По геологическим прогнозам, при проведении разведочных работ с бурением скважин до глубины 7000 м запасы геотермальных месторождений могут удвоиться, а то и утроиться. [4]

Достоинствами геотермальной энергии можно считать практическую неисчерпаемость ресурсов, независимость от внешних условий, времени суток и года, возможность комплексного использования термальных вод для нужд теплоэлектроэнергетики.

Недостаток этой энергии заключается в высокой минерализации термальных вод большинства месторождений и наличии в воде токсичных соединений и металлов, что в большинстве случаев исключает сброс термальных вод в природные водоемы. Однако в связи с внедрением новых, менее затратных, технологий бурения скважин, применением эффективных способов очистки воды от токсичных соединений и металлов капитальные затраты на отбор тепла от геотермальных вод непрерывно снижаются.

В целях повышения эффективности освоения геотермальных месторождений в качестве источников энергии, обеспечения экологической безопасности для окружающей среды была предложена подземная геотермальная энергоустановка.

Конструкция подземной геотермальной энергоустановки, предложенная казахстанскими учеными, содержит входную и выходную скважины,

соединенные поперечными штреками на разных уровнях пласта горячих горных пород в вертикальной плоскости, где поперечные штреки выполнены с промежуточным внутренним уступом, большим диаметром со стороны входной скважины и меньшим диаметром, выходящими в выходную скважину. Причем часть поперечного штрека с большим диаметром заполнена наполнителем, представляющим собой куски графита, а другая часть с меньшим диаметром закреплена трубами. Сама паровая турбина размещена в выходной скважине над пластом горячих горных пород и снизу дополнительно снабжена сепаратором, имеющим изолированный выход на поверхность земли. Практика эксплуатации геотермальных электростанций в мире показывает, что базовый принцип выбора технологических схем их освоения обусловлен глубиной их залегания, естественными запасами, состоянием источников в виде пара, пароводяной смеси и горячей воды, значением их характеристик, выражающихся через температуру, давление и степень минерализации [5].

ВЫВОДЫ

Казахстан, обладая огромным ресурсом месторождений подземных термальных вод, имеет все возможности для перевода экономики на дешевый источник энергии со снижением техногенных нагрузок на окружающую среду.

Известный потенциал тепловых водных ресурсов республики оценивается на данный момент в 4500 МВт. Но так как наличие источников геотермальной энергии в Казахстане недостаточно изучено и требует продолжения геонаучного изучения, то потенциал данных ресурсов может быть намного выше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Муханов, С., Муханова, Д.** Геотермальная энергия – энергия будущего // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 9: новый вектор развития высшего образования и науки» посвященная дню Первого Президента Республики Казахстан. – 2013. – Т.2, ч.1. – С. 22–24.

2 **Алхасов, А. Б.** «Повышение эффективности использования геотермального тепла» / А. Б. Алхасов. – Теплоэнергетика. – М. : 2003. – 45 с.

3 **Амелин, А.** Экономика и ТЭК сегодня / А. Амелин. Энергоэффективность и энергоснабжение. – М. : 2009. – 360 с.

4 **Гарипов, М. Г., Гарипов, В. М.** Геотермальная энергетика / Вестн. Казан, технолог, ун-та. – 2014.

5 **Поваров, О. А.** Использование геотермальной энергии – надежный, дешевый и экологически чистый способ производства электроэнергии и тепла / О. А. Поваров, О. М. Дубнов, А. И. Никольский // Теплоэнергетика. – 2007. – 12–16 с.

6 Тепло Земли: Из доклада «Перспективы развития геотермальных технологий» // Экология и жизнь. – 2001. – № 6.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Н. А. Исупова¹, А. Д. Аязбаева²

Қазақстанда геотермалдық энергетиканы дамыту келешегі

^{1,2}Энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

N. A. Isupova¹, A. D. Ayazbayeva²

Prospect of geothermal energy development in Kazakhstan

^{1,2}Energy Engineering Faculty,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Жер қойнауындағы ыстық су қабаттары – болашақ қуат көзі болып саналады. Қуат ретінде пайдалануға табиғатта дайындалған. Әлемнің 60 елінде олар қуат кездері ретінде өндірісте игерген. Ыстық су кездерінің Қазақстандағы қоры, мұнай және газ қорлары қосындысынан он есе артық. Әлемде ыстық су көздерінен электр қуатын өндірудің 3 сызбасы бар, олар жер бетінде қуат қондырғыларында қолданылады. Өзара қатынастағы ұңғылардан тұратын жерасты қуат қондырғысының сызбасы ұсынылады. Оның жаңалығы – ыстық су кездерінде орналасқан жер қойнауында электр тоғын өндіру, ұңғылардың құрылымы, суды буга айналдыру және электр тоғын жер бетіне жіберу тәсілдері. Қуат қондырғысының қолдану аясы және технологиялық мүмкіншіліктері ұлғаяды, жоғарғы қуат көрсеткіштері алу нәтижелері.

Geothermal deposits are the most promising source of energy of the future. As a form of energy, they are themselves nature-ready for use. In 60 countries of the world they are industrially developed for the production

of electric energy. Reserves of Kazakhstan's geothermal deposits are an order of magnitude larger than the total reserves of the country's oil and gas instead of that taken. In the world there are three schemes for the development of thermal waters as energy sources, terrestrial geothermal power plants. A scheme of an underground geothermal installation consisting of a system of communicating wells is proposed. Its distinctive features are the production of electric energy in the places of occurrence of thermal waters, the design of wells, the methods of vaporization and transfer of energy to the surface of the earth. The conditions of use and technological capabilities of power plants are broadened, and high energy characteristics are achieved.

SRSTI 44.29.01

**A. B. Kaidar¹, M. B. Kaidar², B. K. Shapkenov³,
V. P. Markowsky⁴, A. P. Kislov⁵**

¹General manager, JSC «MC SEZ HimPark Taraz», Shu, Republic of Kazakhstan;

²Manager, JSC «KazTransGas», Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;

³Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan;

⁴Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan;

⁵Candidates of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

e-mail: argin_intel@mail.ru

FREQUENCY REDUCTION CONTROL METHOD OR INDEPENDENT, AUTONOMOUS AND WIRELESS CONTROL CIRCUIT

The operational features and detailed control schemes of AC sub-microgrid, DC sub-microgrid and hybrid AC/DC microgrid are reviewed. The control schemes can effectively manage the power flow between AC and DC sub-microgrids and achieve the proper power sharing and enhance operational reliability. It was found that to distribute the load in the microgrid of insulation in accordance with the nominal characteristics of the DG, the values of the reduction factor can be inversely proportional to their nominal power. It is noted that the added virtual impedance will cause the equivalent impedance to be highly inductive, so that the traditional theory of recession control can still work effectively. However, with the direct implementation of the reduction control circuit in the grid-connected mode of operation, this will lead to frequency deviation, which will lead to loss of synchronization.

Keyword: power systems, distributed generation units, distribution power grid, power consumers, autonomous control, voltage reference, a hybrid microgrid.

INTRODUCTION

The traditional power systems are changing globally, and a large number of distributed generation (DG) units are integrated into distribution power grid driven by the environmental concerns and economical factors [1, p. 146–160]. However,

both utility grid and power consumers will suffer severe power quality problems as the consequence of high penetration DG units integrated without autonomous control capability. In order to overcome the inherent limitation of distributed generation concept, microgrid as a new concept has then been proposed to well manage the local DG units and loads.

Generally, the AC microgrid with high penetration of DG units, and storage devices [2, с. 60–64], has more capacity and control flexibilities to be connected to the conventional AC power systems under gridtied and islanding operation conditions. However, some new energy sources in the microgrid, such as photovoltaic (PV) panels, batteries and fuel cells are DC sources in nature, which unavoidably require inverters to be connected to grid. Meanwhile, more DC loads, e.g., LED lighting and computers etc., are rapidly growing at the end users, which need the power factor correctors (PFCs) to convert the standard AC voltage to a desired DC voltage. Intuitively, establishing a DC power supply network to connect the DC sources and DC loads directly using high efficient DC/DC converters could reduce the unnecessary power conversion circuit and simplify the control complexity. Doing so, the DC grid can demonstrate its significant characteristics with high efficiency and low power conversion cost.

The DC microgrid was proposed in [3, p. 65–69] to integrate various distributed generators. In practice, several DC microgrid pilot projects, such as low voltage DC microgrids at the S. Toraighyrov Pavlodar state University, relay protection laboratories and laboratories renewable energy, have been established and tested with 10 % energy savings for their data center compared to a very efficient AC baseline case. Compared with AC microgrid, DC microgrid has other advantages of less energy conversion links, lower line losses and higher system efficiency.

In addition, the DC microgrid does not need to track the phase and frequency of AC voltage unlike the traditional gridtied inverters, which greatly influence the controllability and the reliability of AC microgrid. Therefore, DC microgrid is more suitable for the integration of distributed renewable energy sources. However, for a comprehensive microgrid, where the various sources as complementary should be integrated to overcome the environmental influence and reduce the interruption maintenance time, a pure DC grid would be deemed inappropriate. Therefore, a hybrid AC/DC microgrid should be assumed to fully demonstrate the advantages of AC and DC distribution networks in view of easier renewable energy integration, higher power conversion efficiency, less energy storage capacity, and higher reliability. For example, a hybrid AC/DC microgrid project in Dongfushan Island built by State Grid Corporation of China integrated multiple distributed generation resources and energy storage and improved the power supply reliability of whole island.

In Kazakhstan, there is a similar project of the solar power plant «Stormy solar» with a capacity of 100 megawatts, located in Zhualy district of Zhambyl region.

In general, the advantage of hybrid AC/DC microgrid can be summarized as follows [4, p. 49-59]:

1) The elimination of unnecessary DC-AC or AC-DC–AC power conversion circuits installed in the power supplies, meaning the significant reduction of power conversion losses;

2) The elimination of embedded PFCs (power factor correction) for powering DC loads in the traditional AC grid, meaning the significant cost and loss reduction of power electronics equipment at end users;

3) The improved power quality in AC grid since the DC loads will not directly generate harmonics pollutions and the interlinking converters with full controllability can significantly enhance the power quality;

4) The improved unsymmetrical current control capability since negative and zero sequence current problems caused by the unbalanced loads in AC grid can be handled by the DC grid.

In this framework, this paper reviews the control schemes of hybrid AC/DC microgrid under islanding operational condition. This work starts with a discussion about the operational mode classification of microgrid according to the power flow in hybrid AC/DC microgrid. Based on the classification, operational features and detailed control schemes of AC sub-microgrid, DC sub-microgrid and interlinking converter in hybrid AC/DC microgrid are reviewed and discussed.

CLASSIFICATION OF DIFFERENT OPERATION MODES IN A HYBRID AC/DC MICROGRID

Generally, a hybrid AC/DC microgrid consists of three main parts: 1) AC sub-microgrid, 2) DC sub-microgrid and 3) power electronics interfaces between AC and DC buses. Figure 1 shows that a general architecture of hybrid AC/DC microgrid is connected to a utility AC grid, where the DC sub-microgrid is connected to AC grid through an interlinking converter. Since the AC microgrid can be directly connected to utility grid through a simple circuit breaker, the AC sub-microgrid is generally dominant in the hybrid AC/DC microgrid to provide a stable voltage. The AC power generators, such as wind turbine and small diesel generator, and the AC loads, such as AC motors and traditional lighting can connect to the AC sub-microgrid. On the other hand, DC power sources such as photovoltaic panels, fuel cells and batteries can be connected to DC sub-microgrid through simple DC/DC converters. Besides, the AC loads have variable frequency operation requirements, such as adjustable speed motors could be connected to DC sub-microgrid either. The energy storage can be installed in AC sub-microgrid or DC sub-microgrid or inserted in the interlinking converter, whose installation location should be optimized by considering load types, power flow, operational reliability, and cost. The energy storage optimization is out of the scope, which will not be discussed further.

Considering the configuration of hybrid AC/DC micro-grid, three different operational modes and their power flow patterns are listed in Table 1, where Modes (a) and (b) represent the independent operation of AC and DC sub-microgrids, respectively, and Mode (c) refers to the joint operation of AC and DC sub-microgrids. In specific, when AC sub-microgrid operates independently, the control targets are to properly control the AC current or AC voltage to manage the real and reactive power flow during grid-tied or islanding operational conditions. While DC sub-microgrid operates independently, the DC voltage or DC current should be carefully controlled to dispatch the power flow between DC sources and DC loads. At last, the joint operation of AC and DC sub-microgrids can properly manage the power flow between AC and DC networks to optimize the operational efficiency and stability. Detailed review will be presented in the following sections.

CONTROL SCHEMES OF AC SUB-MICROGRID

The distributed energy sources can connect to the AC submicrogrid through the interfacing converters. Therefore, the DGs can be treated as AC voltage sources or current sources operated in parallel. The load power sharing among the parallel converters under islanding operation condition has been an active research topic [5, c. 122–132]. In general, to fully utilize the capacity of DGs, the output power of DGs should be proportional to their rated power. To achieve this control goal, many power sharing control schemes have been proposed.

The centralized control scheme proposed in [6, c. 132–144] used a central controller to produce and deliver the current reference of each DG so that all DGs can generate proper real and reactive powers simultaneously to maintain the grid stable.

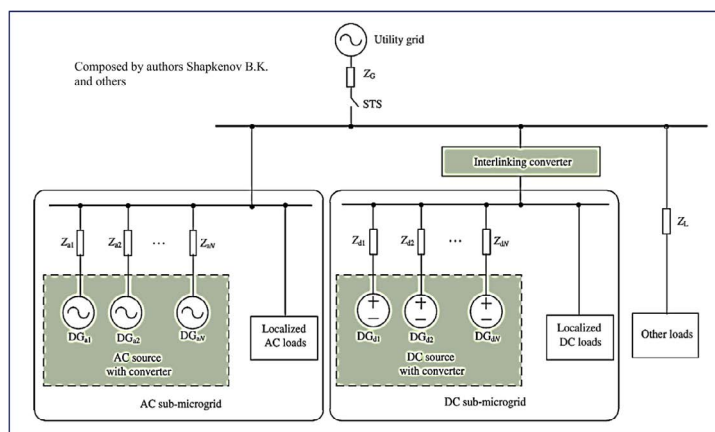


Figure 1 – A general structure of hybrid AC/DC microgrid

Table 1 – Operations of hybrid AC/DC microgrid

Operation modes	AC sub-microgrid sources	DC sub-microgrid sources	Power flow	Control system
Mode (a)	✓	✗	AC microgrid sources AC loads and grid	Control of AC voltage/ AC current for AC load sharing
Mode (b)	✗	✓	DC microgrid sources DC loads and grid	Control of DC voltage/ DC current for DC load sharing
Mode (c)	✓	✓	AC and DC microgrid sources AC and DC microgrid	Control of AC and DC voltage for AC and DC load sharing

Master-slave control method in [7, p. 400–411] proposed a combination of one master converter with voltage control capability and several slave converters with only current control capability like the traditional grid-tied converters. In specific, the voltage-controlled converter acts as the main converter to establish the voltage reference for other current-controlled converters, while the slave converters track the voltage reference to inject the dispatched real and reactive power. The master converter should have a relatively large capacity to fast establish the grid voltage during the grid transient interval when the current controlled converters stop injecting power to microgrid due to the loss of stable voltage. An improved method called the circular-chain-control (3C) strategy was presented in [8, c. 123–135], where the parallel converters were cascade connection and each converter generated the current reference for its adjacent converter. Doing so the reliability of whole control system will be improved. In [9, p. 126–128], the average current control scheme was proposed, where the current references were generated and delivered to each converter by means of communication. Although the above summarized control schemes can achieve the steady and dynamic performances of AC microgrid under islanding operational condition, the stability of the control system highly relies on the effective communications, which would reduce the operational reliability and increase the maintenance cost.

Considering the distributed source configuration in microgrid, the decentralized control method without mutual communication is more reliable for the islanding operation.

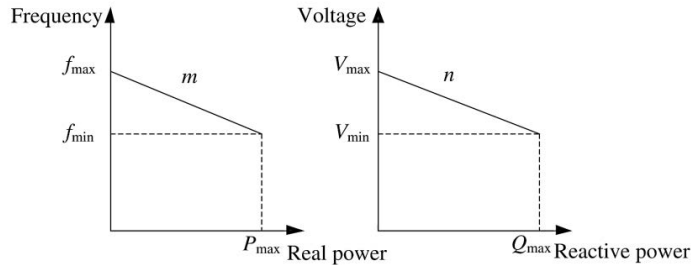


Figure 2 – Real and reactive power droop characteristics for AC sub-microgrid

Therefore, the droop control method known as the independent, autonomous, and wireless control scheme is studied due to the elimination of intercommunication links among distributed converters. The main idea of droop control is to imitate the behavior of a synchronous generator, which reduces the frequency when the real power increases [5, p. 122–132]. This control scheme can regulate the frequency and the magnitude of voltage reference in order to achieve proper power sharing. The droop control scheme can regulate the output voltage frequency and amplitude in theory as

$$\begin{cases} f = f_{max} - m(P - P_{max}) \\ V = V_{max} - n(Q - Q_{max}) \end{cases} \quad (1)$$

where f_{max} and V_{max} are the maximum DG unit output voltage frequency and amplitude without load; m and n refer to the coefficients of f - P and V - Q droop control; P and Q are the instantaneous real and reactive powers after low pass filter (LPF); P_{max} and Q_{max} are the maximum real and reactive powers of distributed sources, respectively; P_{max} and Q_{max} are usually set to zero when the microgrid operates in islanding mode.

The droop coefficients m and n are determined based on the converter power rating, the maximum allowable voltage and frequency deviations, as shown in Fig. 2 The droop coefficients m and n are calculated as:

$$\begin{cases} m = \frac{f_{max} - f_{min}}{P_{max}} \\ n = \frac{V_{max} - V_{min}}{Q_{max}} \end{cases} \quad (2)$$

where f_{min} and V_{min} are the minimum allowable operating values of the voltage frequency and the amplitude, respectively.

To share the load demand in islanding microgrid according to DG ratings, the droop coefficient values shall be adjusted in inverse proportion to their rated

power [5, с. 122-132]. For the islanding microgrid with parallel inverters, the droop coefficients should follow the relationships:

$$\begin{cases} m_1 P_{max1} = m_2 P_{max2} = \dots = m_N P_{maxN} \\ n_1 Q_{max1} = n_2 Q_{max2} = \dots = n_N Q_{maxN} \end{cases} \quad (3)$$

where m_1 to m_N and n_1 to n_N are the droop coefficients of DG units 1 to N , P_{max1} to P_{maxN} , Q_{max1} to Q_{maxN} are the rated real power and reactive power of DG units 1 to N , respectively.

When assuming the above droop control scheme, the line impedance between distributed converter and point of common coupling (PCC) will influence the accuracy of power sharing. In [8, p. 123–135], a virtual output impedance loop added in the droop control system was assumed to solve the problem. In principle, the added virtual impedance will force the equivalent impedance be highly inductive so that the traditional droop control theory can still work effectively. However, when directly implementing the droop control scheme in grid-tied operation condition, it will produce the frequency deviation resulting in the loss of synchronization. In [9, с.126-128], a hierarchical control scheme was proposed where three control levels were defined: primary control, secondary control and tertiary control. In specific, the primary control is indeed a droop control method, including an output virtual impedance loop and the secondary control allows the restoration of deviations produced by the primary control and the tertiary control manages the power flow between the microgrid and the utility grid. The hierarchical control architecture needs communication between distributed sources and central controller and it can be implemented in both grid-tied and islanding operational conditions. Because the droop control method is assumed in the bottom level controller, the controller reliability can still be guaranteed.

CONCLUSION

1 Therefore, the droop control method known as the independent, autonomous, and wireless control scheme is studied due to the elimination of intercommunication links among distributed converters.

1.1 The main idea of droop control is to imitate the behavior of a synchronous generator, which reduces the frequency when the real power increases.

1.2 This control scheme can regulate the frequency and the magnitude of voltage reference in order to achieve proper power sharing.

2 With recent interests in reliable and economical power delivery, hybrid AC/DC microgrids have been conceived as practical and effective solutions. Robust control of a hybrid microgrid encounters many challenges. This paper reviews hybrid AC/DC microgrid control methods under islanding operational condition.

The operational features and detailed control schemes of AC sub-microgrid, DC sub-microgrid and hybrid AC/DC microgrid are reviewed. The control schemes can effectively manage the power flow between AC and DC sub-microgrids and achieve the proper power sharing and enhance operational reliability.

3 The droop coefficients m and n are determined based on the converter power rating, the maximum allowable voltage and frequency deviations

4 To share the load demand in islanding microgrid according to DG ratings, the droop coefficient values shall be adjusted in inverse proportion to their rated power.

5 In principle, the added virtual impedance will force the equivalent impedance be highly inductive so that the traditional droop control theory can still work effectively. However, when directly implementing the droop control scheme in grid-tied operation condition, it will produce the frequency deviation resulting in the loss of synchronization.

REFERENCES

1 **Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б.К., Арипова, Н.М.** Анализ эффективности управления перетоками активной мощности при возникновении асинхронного хода в электроэнергетической системе. Вестник ПГУ, № 1, 2015. – с. 146–160.

2 **Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Жанат, Ж., Айтжанов, С. Е., Жакып, К. Б., Файзулла, Д. Ф., Джансаринов, К. Е., Оспанова, Ж. М.** Жел энергиясынын түрлендірудін тиімділігін жоғарылату. Вестник ПГУ. Энергетическая серия. № 4, 2015. – С. 60–64. ISSN 1811-1858.

3 **Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Жанат, Ж., Айтжанов, С. Е., Жакып, К. Б., Файзулла, Д. Ф., Джансаринов, К. Е., Оспанова, Ж. М.** Тұрақты тоқтың салғылары мен желісінің қолдану проблемалары мен тиімді жағы. Вестник ПГУ. Энергетическая серия. № 4, 2015. – С. 65–69. ISSN 1811-1858.

4 **Kopyrin, V. S., Kaidar, A. B., Ivanova, E. V., Novozhilov, A. N., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Shapkenov, B. K.** Diagnostics the fault types and fault locations in a cascaded mlid from its output voltage waveform. Вестник ПГУ, № 4, 2014. – С. 49–59.

5 Векторное сопряжение разнохарактерных источников энергии. Марковский В. П., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кулумбенов С. Ж. // Вестник ПГУ, ISSN: 1811-1858. Энергетическая серия № 3, 2018, – с. 122–132.

6 Причины нарушения нормального режима работы автономных систем электроснабжения с ветровыми установками. Марковский В. П., Кайдар А. Б.,

Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Кулумбенов С. Ж. // Вестник ПГУ, ISSN: 1811-1858. Энергетическая серия № 3, 2018, – с. 132–144.

7 **Шапкенов, Б., Калиев, Б., Кайдар, А.** Теория и практика энергетических преобразователей. Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. Изд. Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, Germany, 2014, 461 с.

8 Ветросолнечные электрические станции : учеб. пособие / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар. – Кереку, 2016. – 168 с., ISBN 978-601-238-641-7. 9,67 п.л.

9 **Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б.** Электроснабжение на основе возобновляемых источников энергии/ Монография: / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 192 с. ISBN 978-601-310-762-5.

Material received on 12.06.19.

А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Жиілікті басқару әдісі немесе тәуелсіз, дербес және сымсыз басқару

¹«ХимПарк Тараз» еркін экономикалық аймағын басқару компаниясының» АҚ,

Шу қ., 081127, Қазақстан Республикасы;

²«ҚазТрансГаз» АҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{3,4,5}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

А. Б. Кайдар¹, М. Б. Кайдар², Б. К. Шапкенов³, В. П. Марковский⁴, А. П. Кислов⁵

Метод контроля частоты или независимого, автономного и беспроводного контроля

¹АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз»,

г. Шу, 081127, Республика Казахстан;

²АО «КазТрансГаз»,

г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

^{3,4,5}Павлодарский государственный университет

имени С. Торайғырова,

г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Айналмалы, тұрақты субмикронет және гибриді микронет операциялық ерекшеліктері мен егжей-тегжейлі басқару схемалары қарастырылады. Басқару схемалары айналмалы және тұрақты тоқтың субмикроскоптары арасындағы энергия ағынын тиімді басқара алады, электр қуатын дұрыс бөлуді қамтамасыз етеді және жұмыс сенімділігін арттырады.

Шағын микрогрид, DC шағын микрогрид және гибриді AC / DC микрогриді қарастырылады. Айнымалы ток және тұрақты ток суб-микрограммдары арасындағы энергия ағымын бақылауға болады. Оның номиналды қуатына кері пропорционалды болуы мүмкін екендігі анықталды. Айтпа кету керек, ол тиімді түрде болуы мүмкін. Дегенмен, бұл жағдайдың орын алғаны байқалды.

Рассмотрены эксплуатационные особенности и подробные схемы управления субмикросети переменного тока, субмикросети постоянного тока и гибридной микросети переменного / постоянного тока. Схемы управления могут эффективно управлять потоком энергии между субмикросетями переменного и постоянного тока, обеспечивать правильное распределение мощности и повысить эксплуатационную надежность. Было установлено, что для распределения нагрузки в микросети изоляции в соответствии с номинальными характеристиками ДГ, значения коэффициента уменьшения могут быть обратно пропорциональны их номинальной мощности. Следует отметить, что добавленный виртуальный импеданс будет вызывать высокую индуктивность эквивалентного импеданса, так что традиционная теория управления рецессией все еще может работать эффективно. Однако при непосредственной реализации схемы управления понижением в режиме работы с подключением к сети это приведет к отклонению частоты, что приведет к потере синхронизации.

ГРНТИ 64.29.61

**Р. Т. Калдыбаев¹, С. Г. Степанов², А. Е. Арипбаева³,
Р. Ш. Мирзамуратова⁴, Д. Жунисбекова⁵**

¹к.т.н., Высшая школа текстильной и пищевой инженерии Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан;

²д.т.н., профессор, кафедра «Наземные транспортные средства и технологические машины», Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, 153000, Россия;

³к.т.н., Высшая школа текстильной и пищевой инженерии Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан;

⁴доцент, Высшая школа текстильной и пищевой инженерии Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан;

⁵ст. преподаватель, Высшая школа текстильной и пищевой инженерии Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, 160000, Республика Казахстан

e-mail: ¹rashid_cotton@mail.ru; ²step-sg@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ И ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА МЕЖДУ НИТЯМИ В ТКАНЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСАХ ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ

В ранее проведенных авторами исследованиях показано, что на величину внутреннего разрывного давления в пожарных напорных рукавах, оказывают влияние, помимо прочих параметров, такие параметры как коэффициенты вертикального смятия нитей, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка. Учет этих параметров необходим для более точного определения разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах, являющееся одним из важнейших прочностных параметров последних. Изложена методика экспериментальных исследований зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах пожарных напорных рукавов с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV и методов статистики, на основе которых были определены коэффициенты вертикального смятия нитей,

коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка.

Ключевые слова: пожарный напорный рукав, тканый армирующий каркас, разрывное внутреннее гидравлическое давление, методика экспериментальных исследований зон контакта между нитями.

ВВЕДЕНИЕ

В [1] выполнено теоретическое исследование зависимости разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах (ПНР) от параметров их тканого армирующего каркаса. Показано, что для более точного определения разрывного внутреннего гидравлического давления в ПНР по формуле (1) [1, 2] необходимо учитывать, помимо прочих параметров, такие параметры как коэффициенты вертикального смятия нитей, коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка. Величины разрывных давлений на все виды ПНР, выпускаемых в Российской Федерации и используемых по назначению в Республике Казахстан, регламентируются ГОСТ Р 51049-97 [3] (Российская Федерация).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Длины дуг контакта между основной и уточной нитями и рассчитанные на их основе коэффициенты β_o , β_y , характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей основы и утка, величины коэффициентов вертикального смятия нитей основы $\eta_{ов}$ и утка $\eta_{уб}$ определялись на основе исследования зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах ПНР различных диаметров производства ПО «БЕРЕГ» (Российская Федерация) при их разрезе. При этом использовался растровый электронный микроскоп JSM-6490LV, позволяющий исследовать микроструктуру и провести анализ поверхности различных материалов, а также измерить масштабный коэффициент видеоизображения при помощи получения изображения поверхности объекта с высоким пространственным разрешением. Принцип действия микроскопа основан на взаимодействии электронного пучка с исследуемым объектом. Полученные в результате разрезов вдоль нитей основы и утка зоны контакта между нитями тканых армирующих каркасов ПНР различных диаметров сканировалась электронным лучом микроскопа, и образующиеся при этом обратно рассеянные электроны несли информацию о топографии поверхности. Полученный на основе этой информации видеосигнал формировал топографическое изображение зоны контакта между нитями, что позволило изучить эту зону. В состав микроскопа входят:

- система энергодисперсионного микроанализа INCA Energi 450;
- электронно-оптическая система;
- пятиосевой моторизованный объектный столик и объектная камера;
- электронный детектор;
- дисплейная, операционная и вакуумная системы.

Все действия с микроскопом проводились с помощью персонального компьютера, на котором установлено автономное компьютерное обеспечение.

Микроскоп позволяет произвести увеличение исследуемого объекта с кратностью от 8 до 300000.

Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием статистических методов.

В качестве примеров на рис. 1–10 представлены фотографии зон контакта между нитями в армирующих тканых каркасах ПНР производства ПО «БЕРЕГ» диаметров 51 мм, 66 мм, 77 мм, 89 мм, 150 мм при разрезах вдоль нитей основы и утка при 50, 40 и 37 – кратном увеличении после их разрыва на достаточном удалении от локальной зоны разрыва.

Изложим методику экспериментальных исследований зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах ПНР с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV, на основе которой были определены коэффициенты $\eta_{ов}$, $\eta_{уб}$, β_o , β_y .

Сотрудниками отдела сертификации и метрологического обеспечения федерального государственного бюджетного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства чрезвычайных ситуаций Российской Федерации (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) (г. Балашиха, Московская обл.) в специализированной лаборатории были проведены опыты в соответствии с ГОСТ Р 51049-2008 (Россия) (Метод определения разрывного давления рукава) по разрыву латексированных ПНР производства ПО «БЕРЕГ» диаметров с 51 мм по 150 мм с целью определения экспериментальных значений внутренних разрывных давлений данных рукавов при их сертификации.

От ФГБУ ВНИИПО МЧС России нами были получены данные по разрывным давлениям латексированных ПНР производства ПО «БЕРЕГ» диаметров с 51 мм по 150 мм, а также отрезки данных рукавов после проведения опыта по их разрыву, которые исследовались нами с помощью микроскопа JSM-6490LV. Эти отрезки были вырезаны из ПНР, подвергнувшихся испытанию на разрыв, на достаточном удалении от локальной зоны рукава, разрушенной при разрыве.

Рассмотрим методику исследований на примере определения коэффициентов вертикального смятия основной нити ПНР диаметром 51 мм. Отрезок ПНР диаметром 51 мм разрезался на десять образцов от 50

до 70 мм длиной каждый. Затем каждый из этих образцов разрезали острым лезвием вдоль уточной и основной нити. Таким образом получили по десять образцов для исследования зон контакта при разрезе вдоль основы и по десять образцов для исследования зон контакта при разрезе вдоль утка для ПНР диаметром 51 мм, которые и исследовались с помощью микроскопа JSM-6490LV. Исследовали под микроскопом зону контакта между нитями с помощью встроенной аппаратуры микроскопа и делали десять фотографий зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 51 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50 – кратном увеличении (одна из таких фотографий представлена на рис. 2). На фотографии четко видно смятое поперечное сечение основной нити, близкое по форме эллипсу. По всем десяти фотографиям с помощью измерительного блока микроскопа измеряли смятое сечение нити основы по вертикали – малую ось эллипса. Полученные результаты обрабатывали методами статистики: по результатам пробной выборки (10 образцов) подсчитывалась дисперсия и определялась численность репрезентативной (достоверной) выборки (количество фотографий зон контакта для определения величины вертикального смятия) при доверительной вероятности 0,954 и величине предельной ошибки не превышающей 5 %.

Дисперсия пробной выборки рассчитывалась по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{проб})^2}{n_{проб} - 1}, \quad (1)$$

где: x_i – текущая величина смятого сечения нити;

$\bar{x}_{проб}$ – средняя величина в пробной выборке смятого сечения нити;

$n_{проб}$ – численность пробной выборки.

Численность репрезентативной выборки определялась по формуле:

$$n_x = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta_x^2}, \quad (2)$$

где: t – коэффициент доверия (выбирается из таблиц в зависимости от величины доверительной вероятности; в нашем случае при $P(x)=0,954$ $t=2$);

Δ_x – предельная ошибка выборки (5 % от средней величины смятия нити).

Так, например, для ПНР диаметром 51 мм необходимое число опытов оказалось равным 12. Поэтому к десяти уже проведенным опытам (10 фотографий) нами было добавлено еще 2. Для каждой из 12 фотографий с помощью измерительного блока микроскопа измеряли смятое сечение нити основы по вертикали (малую ось эллипса), затем результаты суммировались, и полученное таким образом число делилось на 12 для получения среднего

значения величины смятого сечения нити с учетом увеличения. Это среднее значение делили на коэффициент увеличения (см. в соответствии с рис. 2 с пятидесятикратным увеличением), т.е. на пятьдесят и получали средний фактический размер смятия основной нити по вертикали. Так, например, средний размер смятого сечения нити по вертикали по 12 фотографиям, подобных той, что представлена на рис. 2, составил 33,18 мм. Эту величину делили на 50 (т.к. фото с пятидесятикратным увеличением) и получили фактический средний размер смятого сечения нити основы по вертикали 0,6636 мм при доверительной вероятности 0,954 и величине предельной ошибки не превышающей 5 %. Это число делили на первоначальный диаметр нити основы 1,20 мм. (Смотри [4], таблица 1. – Исходные данные для расчета разрывных давлений в ПНР НПО «БЕРЕГ») и получили коэффициент вертикального смятия нити основы: $0,6636:1,2=0,553$. Это значение заносили в таблицу 1. Аналогичным образом поступали при определении коэффициентов смятия нитей основы и утка ПНР других диаметров.

Аналогичная методика использовалась при определении коэффициентов β_o, β_y . Отличие состояло в том, что в этом случае определялось среднее фактическое значение длины зоны контакта, которое затем делилось на первоначальное значение соответствующего диаметра нити.

Значения коэффициентов $\eta_{об}, \eta_{ув}, \beta_o, \beta_y$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – коэффициенты $\eta_{об}, \eta_{ув}, \beta_o, \beta_y$ зоны контакта нитей в тканых армирующих каркасах латексированных ПНР производства ПО «БЕРЕГ»

Диаметр латексированного ПНР, мм	Коэффициент вертикального смятия основной нити	Коэффициент вертикального смятия уточной нити	Коэффициент зоны контакта β_o	Коэффициент зоны контакта β_y
150	0,558	0,559	1,13	1,11
89	0,545	0,549	1,16	1,13
77	0,532	0,528	1,18	1,14
66	0,543	0,540	1,17	1,13
51	0,553	0,545	1,16	1,12

Анализ полученных коэффициентов смятия указывает на относительно небольшой диапазон их изменения от 0,528 до 0,559. Значения этих коэффициентов говорят о том, что как основные, так и уточные нити в тканых армирующих каркасах ПНР производства ПО «БЕРЕГ» разных диаметров смяты чуть менее чем наполовину. В [5, с. 89] автор вынужденно задавался коэффициентами вертикального смятия нитей основы и утка,

принимая их равными 0,55, т. к. их точное экспериментальное определение в момент разрыва ПНР при современном уровне развития измерительной техники крайне затруднительно, если вообще возможно. Такого же мнения придерживаются авторы работы [6].

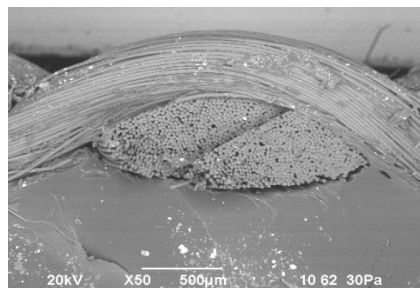


Рисунок 1 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 51 мм при разрезе вдоль основной нити при 50 – кратном увеличении после его разрыва

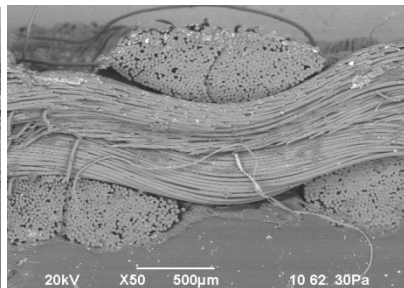


Рисунок 2 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 51 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50 – кратном увеличении после его разрыва

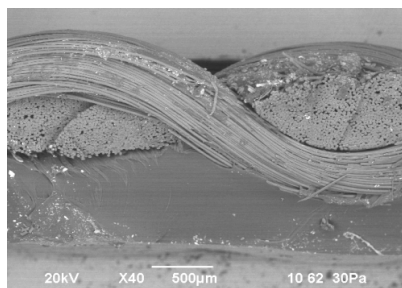


Рисунок 3 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 66 мм при разрезе вдоль основной нити при 40 – кратном увеличении после его разрыва

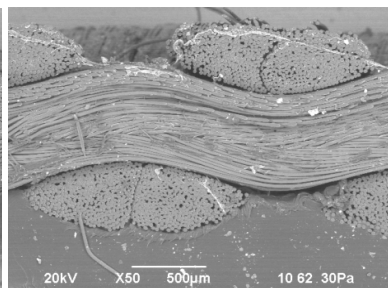


Рисунок 4 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 66 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50 – кратном увеличении после его разрыва

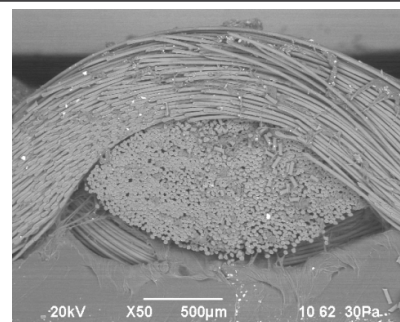


Рисунок 5 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 77 мм при разрезе вдоль основной нити при 50 – кратном увеличении после его разрыва

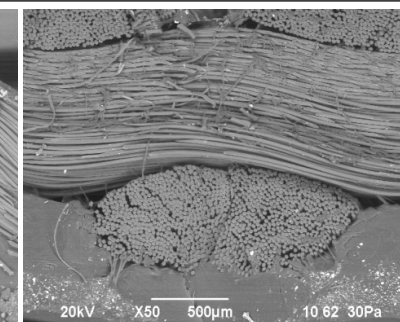


Рисунок 6 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 77 мм при разрезе вдоль уточной нити при 50 – кратном увеличении после его разрыва

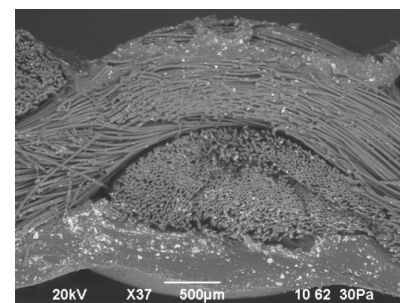


Рисунок 7 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 89 мм при разрезе вдоль основной нити при 37 – кратном увеличении после его разрыва

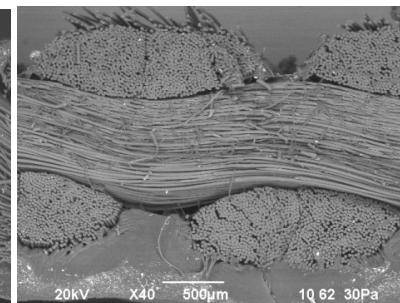


Рисунок 8 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом армирующем каркасе ПНР диаметра 89 мм при разрезе вдоль уточной нити при 40 – кратном увеличении после его разрыва

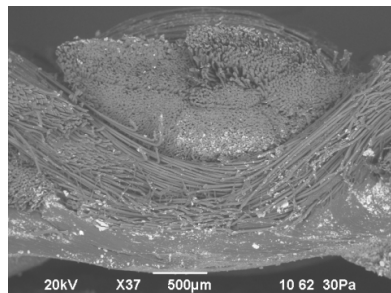


Рисунок 9 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом каркасе ПНР диаметра 150 мм при разрезе вдоль основной нити при 37 – кратном увеличении после его разрыва

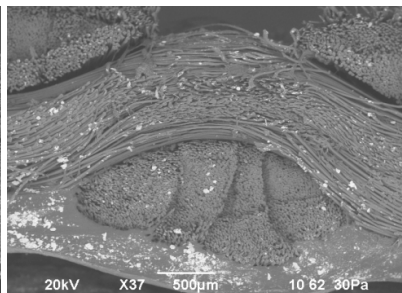


Рисунок 10 – Фотография зоны контакта между нитями в тканом каркасе ПНР диаметра 150 мм при разрезе вдоль уточной нити при 37 – кратном увеличении после его разрыва

Наши исследования показывают несколько меньшие значения этих коэффициентов, а, следовательно, большее фактическое смятие нитей тканого армирующего каркаса рукавов.

В [5, с. 59] автор принимает допущение о том, что длины дуг контакта между основной и уточной нитями в расчетной модели для утка равна диаметру основной нити, а длина дуги контакта между уточной и основной нитью в расчетной модели для отрезка основы равна диаметру уточной нити. Последнее равносильно принятию коэффициентов β_0, β_y , равных единице.

Наши исследования показывают, что коэффициенты зон контакта выше по значениям и изменяются в пределах от 1,11 до 1,18.

Следует также отметить, что может возникнуть вопрос о необоснованности использования данных по коэффициентам $\eta_{об}, \eta_{уб}, \beta_0, \beta_y$, полученным для уже подвергнувшегося разрыву рукава, для расчета разрывного давления по формуле (1) [1], так как их значения в момент разрыва будут отличаться от полученных. Однако мы считаем, что при больших силах взаимного давления между нитями и сильном смятии нитей в радиальном направлении в течение длительного времени остаточные деформации становятся доминирующими, а роль упругой составляющей, которая исчезает после снятия нагрузки, в доле общей деформации не значительна. Поэтому мы считаем, что из-за доминирующей остаточной деформации и относительно малой упругой составляющей такие коэффициенты как $\eta_{об}, \eta_{уб}, \beta_0, \beta_y$ после опыта на разрыв рукава будут достаточно близкими к значениям этих коэффициентов во время разрыва. Обоснованность допущения о доминирующей роли остаточной деформации подтверждается тем, что как

визуальное исследование, так и исследование с помощью микроскопа JSM-6490LV отрезков нитей основы и утка, извлеченных из тканых армирующих каркасов ПНР разных диаметров после опыта на разрыв и снятия нагрузки, указывает на сильную остаточную изогнутость и сильное остаточное вертикальное смятие этих нитей, причем наличие тонких слоев резины или латекса на эти остаточные деформации практически не оказывает влияния. Обоснованность и оправданность использования найденных коэффициентов $\eta_{об}, \eta_{уб}, \beta_0, \beta_y$ для расчета разрывного давления по формуле (1) [1] и, следовательно, вывода о доминировании остаточной деформации, хорошо подтверждается сравнением расчетных и имеющихся экспериментальных данных по разрывным давлениям. Это, по нашему мнению, является основным критерием. Использование коэффициентов $\eta_{об}, \eta_{уб}, \beta_0, \beta_y$, найденных по изложенной выше методике, обосновано и оправдывает себя, так как приводит к существенному увеличению точности расчетов (смотри [4], таблица 2 – Расчетные и экспериментальные данные по разрывным давлениям в ПНР НПО «БЕРЕГ»).

ВЫВОДЫ

1 Выполнен комплекс экспериментальных исследований зон контакта между нитями в ПНР с применением современной измерительной аппаратуры и методов статистики, в результате чего определены величины коэффициентов вертикального смятия нитей, длин зон контакта между нитями в тканых армирующих каркасах ПНР разных диаметров.

2 Расчеты с учетом найденных экспериментальным путем значений длин дуг контакта между основной и уточной нитями, величин коэффициентов вертикального смятия нитей основы и утка дают существенно более точные результаты по разрывным давлениям в ПНР, что подтверждает необходимость их учета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Арипбаева, А. Е., Мырхалыков, Ж. У., Степанов, С. Г. Теоретическое исследование зависимости разрывного гидравлического давления пожарных напорных рукавов от параметров их тканого армирующего каркаса // Вестник КазНТУ. – 2017. – № 1. – С. 143–149.

2 Арипбаева, А. Е., Мырхалыков, Ж. У., Степанов, С. Г. Новое перспективное научное направление в области расчета и проектирования пожарных напорных рукавов // Вестник КазНТУ. – 2016. – № 6. – С. 308–312.

3 ГОСТ Р 51049-97. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытания.

4 **Арипбаева, А. Е., Мырхалыков, Ж. У., Степанов, С. Г.** Подтверждение зависимости для расчета разрывного внутреннего гидравлического давления в пожарных напорных рукавах // Вестник КазНТУ. – 2017. – № 2. – С. 196–200.

5 **Степанов, О. С.** Применение теории строения ткани для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии: Дис. ... кандидата техн. наук. – Иваново, ИГТА, 2012. – 141 с.

6 **Мырхалыков, Ж. У., Сатаев, М. И., Степанов, С. Г., Чистобородов, Г. И.** Теория формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей и ее приложение к решению практических задач. – Шымкент: ЮКГУ, ИВГПУ, 2014. – 500 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Р. Т. Калдыбаев¹, С. Г. Степанов², А. Е. Арипбаева³, Р. Ш. Мирзамуратова⁴, Д. Жунисбекова⁵

Маталы амирленген өрт сөндіру түтігінің жіптерінің арасындағы байланысындағы параметрлерін және аймағын зерттеу

^{1,3,4,5}«Тоқыма және тамақ инженерия» Жоғары Мектебі

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,
Шымкент қ., 160000, Қазақстан Республикасы;

²Иваново мемлекеттік политехникалық университеті,
Иваново қ., 153000, Ресей.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

R. T. Kaldybaev¹, S. G. Stepanov², A. E. Aripbaeva³, R. Sh. Mirzamuratova⁴, D. Zhunisbekova⁵

Research of the zone and contact parameters between threads in woven reinforcing frames of fire-press heads

^{1,3,4,5}Graduate School of Textile and Food Engineering,

M. Auezov South Kazakhstan State University,
Shymkent, 160000, Republic of Kazakhstan;

²Ivanovo State Polytechnic University,
Ivanovo, 153000, Russia.

Material received on 12.06.19.

Алдыңғы зерттеулерде авторлар өрттің қысымды өрт сөндіру түтігінің ішкі қысымның шамасының басқа параметрлері бойынша вертикалды коэффициенттері сияқты, параметрлері бойынша, арқау мен негіз жіптерінің диаметрі бөлігінде жіптердің

байланыс ұзындықтарын айқындайтын ерттеулері көрсетілген. Бұл параметрлерді есепке алу өрт сөндіру түтігінің ішкі гидравликалық қысымның дәл анықталуы үшін қажет, бұл соңғы күштің маңызды параметрлері болып табылады. JSM-6490LV электронды микроскопын және статистикалық әдістерді қолдану арқылы өрт сөндіру түтігінің маталарды нығайтудағы жіптер арасындағы байланыс аймағын эксперименттік зерттеу әдістемесі белгіленді.

In previous studies, the authors showed that the magnitude of the internal burst pressure in fire pressure hoses is influenced, among other parameters, by parameters such as vertical buckling coefficients, coefficients characterizing the lengths of contact zones between the threads in fractions of the diameters of the warp and weft threads. Accounting for these parameters is necessary for a more accurate determination of the bursting internal hydraulic pressure in fire pressure hoses, which is one of the most important strength parameters of the latter. The method of experimental studies of the contact zones between the threads in woven reinforcing frames of fire pressure hoses using a JSM-6490LV scanning electron microscope and statistical methods is set out.

**А. П. Кислов¹, В. П. Марковский², Б. К. Шапкенов³,
А. Б. Кайдар⁴, М. Б. Кайдар⁵, Д. И. Кусаинов⁶**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

²к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

⁴м. т. и т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, Республика Казахстан;

⁵менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Нур-Султан, Республика Казахстан;

⁶магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru; ²wadim54@mail.ru; ³argin_intel@mail.ru;

⁴argin_intel@mail.ru; ⁵m.kaidar@amangeldygas.kz

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СЕТЕЙ ГК KAZ MINERALS

В статье отмечается, что современные системы электропитания предназначены для нормальной работоспособности нагрузок с варьируемыми техническими характеристиками и необходимы для регулировки, преобразования и распределения электрической энергии, а также обеспечения бесперебойного электроснабжения на переменном и постоянном напряжении.

В статье рассмотрен вопрос оптимизации системы электроснабжения обеспечивающих качество электрической энергии с заданными параметрами, характеристики которых изменяются в соответствии с технологическим процессом.

Ключевые слова: энергосбережение, электрическая сеть, потери мощности, алгоритм оптимизации, функция, процесс, целевая функция, ограничение

ВВЕДЕНИЕ

Бозшакольский ГОК (рисунок 1) – крупномасштабный рудник открытого типа, расположенный в Павлодарской области. Продолжается строительство обогатительной фабрики по переработке сульфидной руды на втором проекте роста компании – Актогае, расположенном в Восточном Казахстане. Эти проекты обеспечат один из самых динамичных показателей

увеличения объемов производства в отрасли и преобразуют KAZ Minerals в компанию, в ресурсном профиле которой преобладают рудники открытого типа мирового класса.

Полная проектная мощность обогатительных фабрик Бозшакольского ГОКа составит 30 млн. тонн руды в год. Срок эксплуатации рудника – более 40 лет, с содержанием меди в руде 0,36 %. По операционным затратам Бозшаколь входит в первую четверть среди международных медедобывающих проектов. Объем производства в первые 10 лет составит 100 тыс. тонн меди в катодном эквиваленте, 120 тыс. унций золота в концентрате в год.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для анализа электрическая сеть представляется разными уровнями, как это показано на рисунок 2 верхний уровень – это электрическая сеть напряжением 110 кВ и выше. Эта сложно-замкнутая электрическая сеть, представляемая полной схемой замещения, показана на рисунке 2 условно, как ЭС1. Реактивные мощности, вырабатываемые генераторами электростанций QЭС, компенсирующими устройствами QК, линиями электропередачи QС, а также реактивные мощности, протекающие по связям с соседними ЭС2 и ЭС3 (Q12, Q21, Q13, Q31) обеспечивают в ЭС1 располагаемую реактивную мощность Qp1.



Рисунок 1 – Бозшаколь – сульфидная обогатительная фабрика

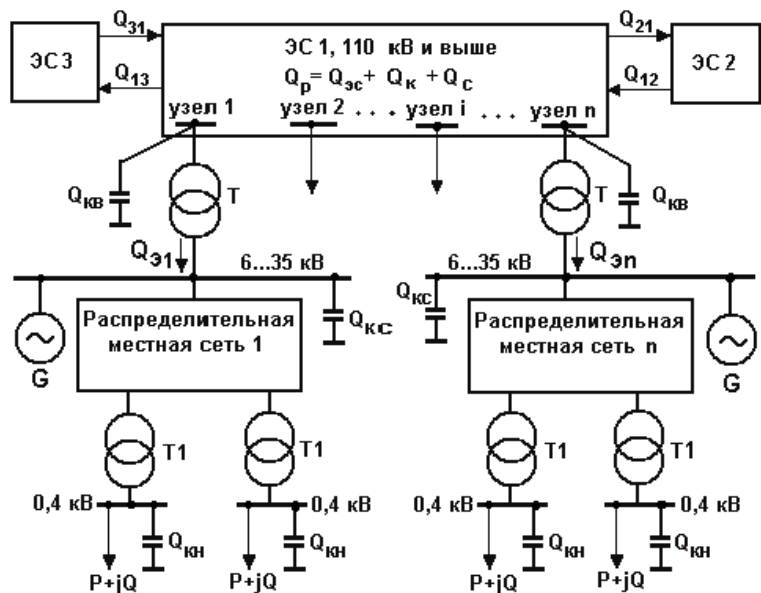


Рисунок 2 – Схема размещения КУ в электрической сети

Второй уровень – это множество n разомкнутых местных распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже, присоединенных к n узлам электрической сети верхнего уровня через трансформаторы T . Эти местные распределительные сети непосредственно не связаны между собой, но влияют друг на друга через сеть верхнего уровня. Синхронные генераторы, компенсаторы и двигатели в каждой такой распределительной сети представлены одной эквивалентной синхронной машиной G . От местных электрических сетей через распределительные трансформаторы $T1$ питаются низковольтные потребители $P+jQ$.

Компенсирующие устройства могут устанавливаться на шинах высшего ($jQ_{кв}$) и низшего ($jQ_{кн}$) напряжения трансформаторов T , а также на шинах 0,4 кВ распределительных трансформаторов $T1$ и в самой сети 0,4 кВ ($jQ_{кн}$). Значение мощностей этих КУ и подлежит определению.

В общем виде задача оптимизации размещения КУ формулируется следующим образом: определить реактивные мощности имеющихся в узлах 6...35 кВ синхронных машин G , мощности КУ в сетях всех напряжений $Q_{кв}$, $Q_{кн}$, а также значения реактивных мощностей $Q_{эi}$ ($i=1, 2, \dots, n$), передаваемых в сети потребителей, при которых обеспечивается минимум суммарных затрат.

Для оптимизации режимов по реактивной мощности разработан комплекс программ (рисунок 3). Его условно можно разделить на две части:

интерфейсная часть, разработанная в удобном, понятном виде, предназначенная для работы с пользователем любого уровня;

расчетная часть, которая непосредственно выполняет необходимые расчеты для получения оптимальных режимов.

В интерфейсную часть комплекса входят программы ввода следующих параметров:

- линий;
- трансформаторов;
- компенсирующих устройств;
- реакторов;
- нагрузок.

В расчетную часть входят следующие программы:

- формирования узловой матрицы;
- формирования векторов узловых токов без оптимизации мощностей компенсирующих устройств;
- расчета узловых напряжений;
- формирования векторов ограничений узловых токов;
- расчета оптимальных значений узловых напряжений;
- расчета оптимальных значений мощностей компенсирующих устройств.

Для расчета установившегося неоптимального режима разработаны программы:

- формирования матриц узловых проводимостей,
- формирования узловых токов источников,
- ЛУ разложения матрицы,
- решение систем уравнений узловых напряжений.

Для расчета оптимального режима разработана программа условной оптимизации с нелинейными ограничениями. В качестве исходных данных для этой программы используется узловые напряжения, рассчитанные для неоптимального режима. Оптимизация производится градиентным методом квадратичного программирования.

Программа расчета неоптимального установившегося режима включает в себя алгоритм треугольного разложения матрицы и итерационный алгоритм решения системы нелинейных уравнений подобный методу Гаусса-Зейделя, модифицированный для решения сетевых нелинейных задач [1, с. 153–157, 2, с. 146–160, 3, б. 115–120.] Особенностью итерационного алгоритма является то, что на каждой последующей итерации для определения узловых токов

источников используется значения узловых напряжений, полученное на предыдущей итерации (рисунок 3).

На первом этапе (рисунок 3) с помощью разработанного программного обеспечения были рассчитаны неоптимальные режимы работы сети ГК KAZ Minerals с компенсацией реактивной мощности (таблица 1 и 2) при коэффициенте реактивной мощности $tg \varphi_3 = 0,14$ [4, с. 174-181].

При номинальных нагрузках потери активной мощности составили $\Delta P_{неопт} = 88560$ кВт. При максимальных нагрузках – $\Delta P_{неопт} = 93220$ кВт.

Проведя расчет оптимального режима сети ГК KAZ Minerals при номинальных нагрузках, было получено минимальное значение потерь активной мощности в сети $\Delta P_{опт} = 84500$ кВт. Эффект разработанного программного обеспечения оценивается по снижению потерь активной мощности на величину

$$\Delta P' = \Delta P_{неопт} - \Delta P_{опт} = 88560 - 84500 = 4060 \text{ кВт.}$$

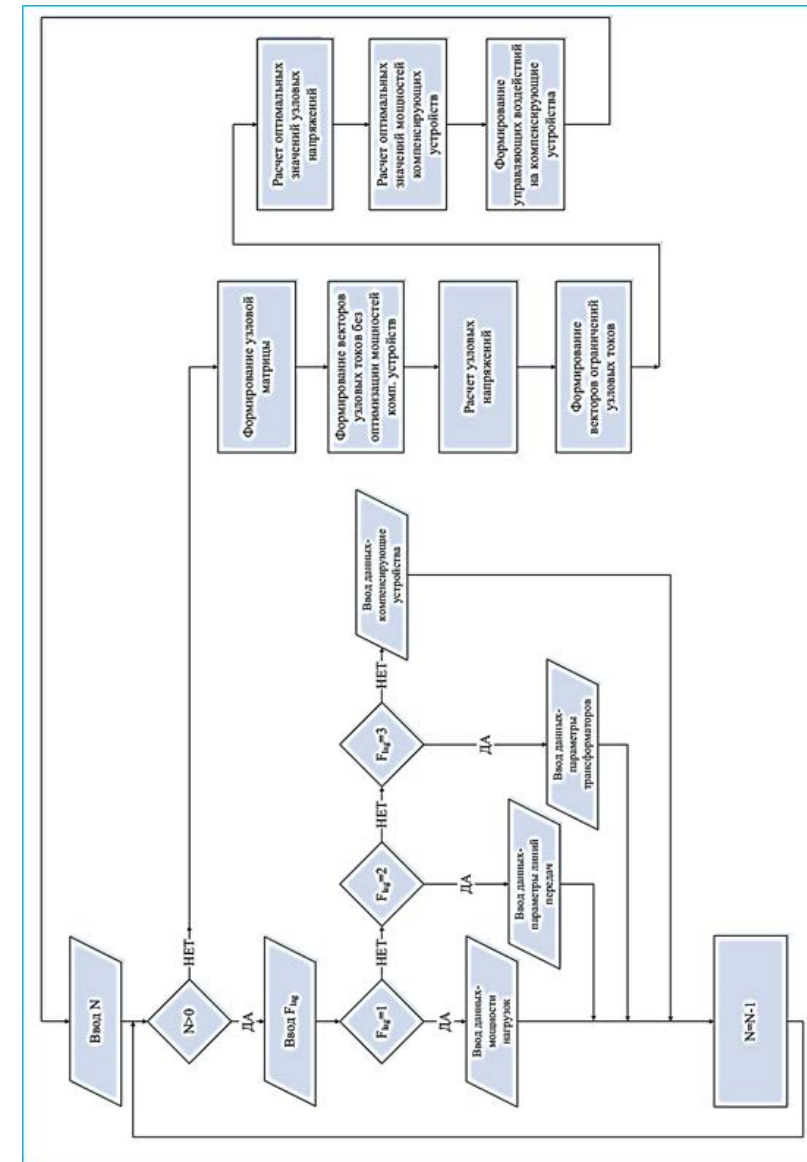


Рисунок 3 – Блок-схема разработанного программного обеспечения

Таблица 1 – Оптимальный режим сети при номинальных нагрузках

№ п/ст	Приведенные напряжения к ступени 110 кВ	Генерируемые мощности	
		активная, кВт	реактивная, кВАр
28	114,2	-	42351
2	113,8	-	38136
6	114,5	-	14233
32	113,7	-	9541
38	113,9	-	14919
46	114,1	-	5351
37	114,3	-	3780
40	113,8	-	10280
44	114,2	-	25306
34	114,5	-	15570
33	114,6	-	24905
20	113,8	-	45693
31	114,2	-	13560
43	114,1	-	10751
42	114,3	-	13341
41	114,2	-	65340
ГРЭС1	114,8	15210	6800
ГРЭС2	115,1	32155	12751

Таблица 2 – Оптимальный режим сети при максимальных нагрузках

№ п/ст	Приведенные напряжения к ступени 110 кВ	Генерируемые мощности	
		активная, кВт	реактивная, кВАр
28	113,8	-	46283
2	113,3	-	40563
6	114,1	-	15621
32	113,1	-	10159
38	113,2	-	16105
46	113,8	-	6258
37	113,9	-	4106
40	113,5	-	12223
44	113,9	-	28412
34	114,0	-	16933
33	114,1	-	26122
20	113,4	-	47731
31	113,8	-	15303

43	113,7	-	116697
42	113,9	-	15105
41	113,9	-	68251
ГРЭС1	114,7	16250	7200
ГРЭС2	115,0	34120	14105

Проведя расчет оптимального режима сети ГК KAZ Minerals при максимальных нагрузках, было получено минимальное значение потерь активной мощности в сети $\Delta P_{\text{опт}}=89320$ кВт. Эффект разработанного программного обеспечения оценивается по снижению потерь активной мощности на величину

$$\Delta P' = \Delta P_{\text{неопт}} - \Delta P_{\text{опт}} = 93220 - 89320 = 3900 \text{ кВт.}$$

Таким образом, для оптимизации режимов по реактивной мощности разработан комплекс программ. Оптимизация позволит снизить потери мощности на 3,9 МВт.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кайдар, А. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К., Акаев, А. М. Оптимизация параметров систем электроснабжения с применением системного регулирования энергопотребления. Вестник ПГУ, серия энергетическая, № 3, 2014 г., – с. 153–157.

2 Кислов, А. П., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Арипова, Н. М. Анализ эффективности управления перетоками активной мощности при возникновении асинхронного хода в электроэнергетической системе. Вестник ПГУ, № 1, 2015. – с. 146–160.

3 Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Жанат, Ж., Айтжанов, С. Е., Жакып, К. Б., Файзулла, Д. Ф., Джансаринов, К. Е., Оспанова, Ж. М. Электрмен камтамасыздандыру жүйелерінің параметрлерін оңтайландыру үшін энергия тұтынуын жүйелік реттеу. Ғылыми журнал. ПМУ хабаршысы. Энергетикалық серия. № 1, 2016, – Б. 115–120.

4 Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К., Кушкулов, Р. К., Кот, Е. Н., Кайдар, М. Б., Амренова, Д. Т. Снижение энергетических затрат на АО «Каустик» // Вестник ПГУ, Серия энергетическая. № 1. 2017, ISSN: 1811-1858, – С. 174–181.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов², В. П. Марковский³, А. Б. Кайдар⁴,
М. Б. Кайдар⁵, Д. И. Кусаинов⁶

КAZ MINERALS МКҚ желілерін оңтайландыру

^{1,2,3,6}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
⁴«ХимПарк Тараз» еркін экономикалық аймағын басқару
компаниясының» АҚ,
Шу қ., 081127, Қазақстан Республикасы;
⁵«ҚазТрансГаз» АҚ,
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. P. Kislov¹, B. K. Shapkenov², V. P. Markowsky³, A. B. Kaidar⁴,
M. B. Kaidar⁵, D. I. Kusainov⁶

Optimization of network modes of KAZ MINERALS

^{1,2,3,6}S. Toraighyrov Pavlodar State Union,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;
⁴JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081127, Republic of Kazakhstan;
⁵JSC «KazTransGas»,
Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Мақалада заманауи электрмен жабдықтау жүйелері әртүрлі техникалық сипаттамалары бар жүктемелердің қалыпты жұмысына арналған және электр энергиясын реттеу, айырбастау және тарату, сондай-ақ ауыспалы және тұрақты кернеуде тоқтаусыз электрмен жабдықтауды қамтамасыз ету үшін қажет деп санайды.

Мақалада электр энергиясының сапасын қамтамасыз ететін электр қуатын беру жүйесінің оңтайландыру мәселесі талқыланады, олардың сипаттамалары технологиялық процеске сәйкес өзгереді.

The article notes that modern power supply systems are designed for normal operation of loads with varying technical characteristics and are necessary for adjusting, converting and distributing electrical energy, as well as ensuring uninterrupted power supply at alternating and constant voltage.

The article discusses the issue of optimizing the power supply system ensuring the quality of electrical energy with given parameters, the characteristics of which vary in accordance with the technological process.

ГРНТИ 44.29.01

А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов², В. П. Марковский³, А. Б. Кайдар⁴, М. Б. Кайдар⁵

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;
²к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;
³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;
⁴м. т. и т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, Республика Казахстан;
⁵менеджер, АО «КазТрансГаз», г. Нур-Султан, Республика Казахстан
e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru; ²argin_intel@mail.ru; ³wadim54@mail.ru;
⁴argin_intel@mail.ru; ⁵m.kaidar@amangeldygas.kz

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ГЕНЕРИРУЕМЫХ ГАРМОНИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В статье предложена классификация многообмоточных входных трансформаторов (МВТ) по конструктивному исполнению, принципу действия и способу получения фазового сдвига между напряжениями вторичных обмоток. Предлагается по конструктивному исполнению магнитопроводов и размещению обмоток все разновидности МВТ для многоуровневых инверторов разбить на МВТ с расположением обмоток на параллельных стержнях или стержневые МВТ; МВТ с размещением обмоток на радиальных стержнях (радиальные МВТ) и МВТ с цилиндрическими магнитопроводами. По принципу действия предложено выделять МВТ с трансформаторной ЭДС или трансформаторы с неподвижным магнитным полем, и МВТ с ЭДС вращения, или трансформаторы с вращающимся магнитным полем. По способу получения фазового сдвига между напряжениями двух смежных вторичных обмоток можно выделить два основных типа МВТ: входные трансформаторы, в которых фазовый сдвиг достигается за счет соответствующего соединения вторичных обмоток разных фаз, и МВТ, в которых фазовый сдвиг достигается пространственным смещением вторичных обмоток.

Ключевые слова: трансформаторы с вращающимся магнитным полем, фазовый сдвиг, снижения уровня генерируемых гармоник,

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на объектах нефтегазовой отрасли все шире начинают применяться частотно-регулируемые электроприводы (ЧРЭП). Разработаны регулируемые электроприводы для погружных электродвигателей нефтедобывающих скважин, для станков качалок, для вентиляторных установок охлаждения газа, для привода основных механизмов буровых установок [1]. Одним из основных недостатков преобразователей частоты (ПЧ) в составе ЧРЭП являются генерация высших гармоник в питающую электрическую сеть и сложность получения близкой к синусоидальной формы выходного напряжения. Для снижения уровня генерируемых гармоник используются различные способы и средства: установка частотных фильтров (фильтро-компенсирующие устройства, резонансные LC-фильтры, RC-цепи, активные фильтры); замена управляемых выпрямителей в составе ПЧ на неуправляемые; повышение пульсности (числа фаз) выпрямителей. Наиболее перспективным средством снижения уровня высших гармоник является применение многоуровневых ПЧ с многообмоточным трансформатором на входе. Многообмоточные входные трансформаторы (МВТ) в составе высоковольтных ПЧ выполняют две основные функции: повышают пульсность выпрямителей и снижают напряжение до номинальных значений низковольтных IGBT-транзисторов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Многообмоточные входные трансформаторы различаются своим конструктивным исполнением, принципом действия и способом получения фазового сдвига между напряжениями вторичных обмоток. По конструктивному исполнению магнитопроводов и размещению обмоток все разновидности МВТ для многоуровневых инверторов можно разбить на три группы:

1 МВТ с расположением обмоток на параллельных стержнях многостержневого магнитопровода или стержневые МВТ;

2 МВТ с расположением обмоток на радиально расположенных стержнях магнитопровода или радиальные МВТ; 3. МВТ с тороидальными (цилиндрическими) магнитопроводами. Принцип действия МВТ определяется способом наведения ЭДС во вторичных обмотках. При этом можно выделить два основных типа МВТ: с трансформаторной ЭДС или трансформаторы с неподвижным магнитным полем, и МВТ с ЭДС вращения, или трансформаторы с вращающимся магнитным полем. По способу получения фазового сдвига между напряжениями двух смежных вторичных

обмоток можно выделить два основных типа МВТ: входные трансформаторы, в которых фазовый сдвиг достигается за счет соответствующего соединения вторичных обмоток разных фаз, и МВТ, в которых фазовый сдвиг достигается пространственным смещением вторичных обмоток.

Самой простой конструкцией МВТ, получившей распространение как в качестве силового трансформатора, так и для силовых электронных преобразователей, является трехфазный трансформатор с расщепленной обмоткой низшего напряжения типа ТРДН. Такой трансформатор широко применяется в схемах электроснабжения нефтегазовых предприятий [1], [2, с. 261]. Он содержит две обмотки низшего напряжения. Одна их обмоток соединяется в звезду, а вторая – в треугольник. В результате получается две системы трехфазных вторичных напряжений, сдвинутых по фазе по отношению друг к другу на 30°. Такую систему напряжений называют шестифазной. При трехфазной мостовой схеме выпрямления она позволяет получать 12-ти пульсные выпрямители. Для дальнейшего увеличения пульсности выпрямителей необходимо иметь более двух вторичных напряжений. Для этого можно использовать либо несколько трансформаторов [2, с. 261], либо на одном магнитопроводе выполнить несколько вторичных обмоток. Конструкция такого трансформатора с расположением обмоток на параллельных стержнях магнитопровода представлена на рис. 1а [2, с. 261]. Получение фазового сдвига между напряжениями вторичных обмоток показаны на рис. 1б.

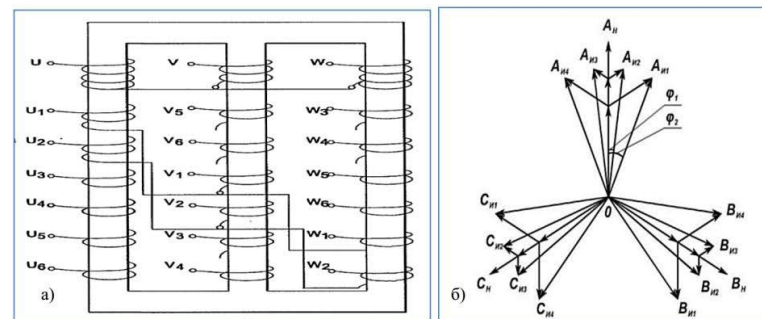


Рисунок 1 – Трехстержневой многообмоточный трансформатор

В схеме многоуровневого ПЧ к каждой вторичной трехфазной обмотке подключается свой индивидуальный выпрямитель. По постоянному току каждый из выпрямителей подключается к индивидуальному однофазному инвертору. Выходы инверторов одной фазы включаются последовательно. При этом напряжение каждой фазы двигателя равно сумме выходных

напряжений последовательно включенных инверторов. Благодаря такой схеме и смещению вторичных напряжений по фазе суммарный коэффициент гармоник ПЧ, даже без специальных мер их подавления и фильтрации, не превышает 3 % [3, с. 440–449].

Вместе с тем у такой схемы есть и ряд недостатков. Выпрямитель и инвертор образуют низковольтную силовую ячейку. Каждая силовая ячейка современного ПЧ содержит трехфазный мостовой выпрямитель, блок фильтра на выходе выпрямителя, транзистор-ный однофазный инвертор с блоком управления и блок защитных предохранителей. Обычно низковольтные ячейки многоуровневых транзисторных ПЧ выполняются на напряжение питания 660 В, а в инверторе применяются силовые транзисторы 17 класса (1700 В). При напряжении 6 кВ в одной фазе ПЧ устанавливается до пяти последовательно соединенных ячеек, а при напряжении 10 кВ – до 9 ячеек (всего соответственно 15 и 27 ячеек). Это значительно увеличивает габариты высоковольтного ПЧ и требует установки сложного МВТ с большим числом вторичных обмоток. Увеличение числа вторичных обмоток усложняет конструкцию МВТ и повышает его стоимость настолько, что МВТ становится самым дорогостоящим элементом ПЧ. Выполнение многочисленных соединений между вторичными обмотками снижает надежность стержневого трансформатора. Магнитопровод трехстержневых трансформаторов имеет простую плоскую конструкцию. При этом длина отрезка ярма, соединяющего крайние стержни, больше, чем длина отрезка ярма, соединяющего крайний стержень со средним. Это приводит к неодинаковым значениям индуктивностей обмоток. Компенсировать получившееся отличие индуктивности обмоток, охватывающих стержни, расположенные по краям и посередине магнитопровода, не удается. Поэтому общим недостатком трехстержневых трансформаторов с параллельным расположением стержней является несимметричность магнитной цепи трансформатора. Несимметричность магнитной цепи не только нарушает равенство напряжений вторичных обмоток, но и ухудшает гармонический состав магнитного потока и вторичных напряжений из-за разной степени насыщения стержней магнитопровода. Однако, несмотря на отмеченные недостатки, трехстержневые трансформаторы с плоской (стержневой или бронестержневой) конструкцией получили преимущественное распространение. Такие трансформаторы используются в ПЧ компаний Mitsubishi Electric, Trihal, General Electric, Robicon и др. Так например, входной трансформатор ПЧ компании Mitsubishi Electric преобразует трехфазное входное напряжение 6 кВ в 18-фазное выходное напряжение 578 В. Его вторичные обмотки разделены на три группы, в каждой по шесть обмоток. Фазовый сдвиг между соседними обмотками в группе составляет

10° , а между первой и шестой обмотками группы – 50° . Развитием броневой конструкции магнитопровода МВТ является выполнение магнитопровода четырехстержневым [4, с. 327–335]. Площадь сечения двух крайних стержней трансформатора вдвое меньше площади двух внутренних стержней. Каждый стержень охвачен одинаковыми первичными обмотками и группой вторичных обмоток. Обмотки, охватывающие один крайний стержень, включены последовательно и согласно с обмотками, охватывающими другой крайний стержень. Такая конструкция магнитопровода позволила повысить симметрию магнитной цепи [4, с. 327–335].

Но и при такой конструкции исключить полностью недостатки стержневых трансформаторов не удается. Таким образом, недостатками МВТ на стержневом магнитопровode плоской конструкции является несимметрия магнитной цепи, что нарушает равенство напряжений вторичных обмоток и ухудшает гармонический состав магнитного потока, а также сложность выполнения многочисленных соединений между вторичными обмотками разных фаз, что снижает надежность стержневого трансформатора.

Для получения симметричной магнитной цепи необходимо выровнять взаимную индукцию между всеми стержнями. Для этого достаточно расположить три стержня магнитопровода на равном расстоянии друг от друга, например, в вершинах равностороннего треугольника [4, с. 327–335]. Однако, пространственный магнитопровод такого трансформатора имеет низкую прочность и сложную конструкцию. Поэтому трансформаторы с магнитопроводами такого типа не получили широкого распространения.

Другим способом получения симметричного магнитопровода является радиальное расположение стержней под углом 120° , как показано на рис. 2. Магнитопровод из трех радиально расположенных стержней охвачен круговым ярмом [4, с. 327–335]. Ярмо намотано из ленты электротехнической стали. Стержни выполнены в виде многовитковых вытянутых по оси петель, намотанных из лент электротехнической стали и спрессованных до сближения смежных плоскостей ленты внутреннего витка.

Такой магнитопровод обладает магнитной симметрией. Недостатками его являются большие материалоемкость и трудоемкость в изготовлении, а также сложность выполнения соединения вторичных обмоток разных фаз для получения требуемого фазового сдвига.

Необходимость соединения вторичных обмоток разных фаз отсутствует в МВТ с вращающимся магнитным полем. Магнитопровод МВТ с вращающимся магнитным полем выполняется цилиндрическим по аналогии с магнитопроводом статора асинхронного двигателя.

Один из первых трансформаторов на основе использования вращающегося магнитного поля был предложен в [5]. Он был назван

«суммирующим трансформатором» (a rotating field summing transformer). Магнитопровод трансформатора содержит два цилиндрических сердечника, набранных из кольцевых дисков. Навнешнем цилиндрическом сердечнике расположена первичная трехфазная обмотка по типу обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя. На внутреннем диске располагаются вторичные трехфазные обмотки. Трансформатор на основе использования вращающегося магнитного поля для многоуровневого инвертора был запатентован фирмой Siemens [6]. Магнитопровод такого трансформатора состоит из внутреннего (центрального) и внешнего сердечников, которые жестко закреплены относительно друг друга (рис. 3). Сердечники имеют множество пазов. Трансформатор содержит первичную обмотку на внешнем сердечнике и вторичные обмотки на центральном сердечнике. Первичные обмотки создают вращающееся магнитное поле. Это поле является симметричным по отношению к любой из вторичных обмоток. В этом главное преимущество трансформаторов с магнитопроводом на основе конструкции статора трехфазных ЭД.

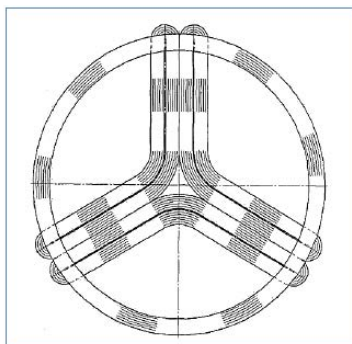


Рисунок 2 – Магнитопровод из трех радиально расположенных стержней

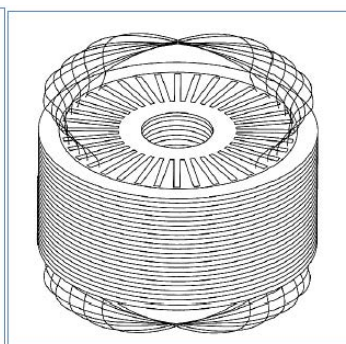


Рисунок 3 – Многообмоточный трансформатор с вращающимся магнитным полем

В настоящее время МВТ с вращающимся магнитным полем выпускаются компаниями Siemens, Toshiba, Mitsubishi Electric и другими. Так МВТ с вращающимся магнитным полем используется в высоковольтных преобразователях частоты серии MELTRAC-F500HV (на напряжение 6 кВ) фирмы Mitsubishi Electric и преобразователях частоты TМdrive, производимых совместно компаниями Toshiba и Mitsubishi Electric, и предназначенных для применения в системах автоматического управления трехфазными асинхронными электродвигателями на напряжение 6, 10 кВ с

диапазоном мощностей от сотен киловатт до десятков мегаватт. Первичная обмотка трансформатора в преобразователях частоты TМdrive выполнена таким образом, что при подаче на нее входного напряжения, она создает круговое вращающееся поле. Вторичные обмотки разделены на три группы – по шесть обмоток в группе. Фазовый сдвиг между соседними обмотками в группе составляет 10°. Это достигнуто за счет геометрического смещения в пространстве осей обмоток на 10°. Фазовый сдвиг между первой и шестой обмотками группы составляет 50°. Фазовый сдвиг между первыми вторичными обмотками в группе составляет 120°. Трансформатор данной конструкции обладает более высоким КПД по сравнению с обычным многостержневым трансформатором, что позволяет увеличить КПД ПЧ в целом. При номинальных частоте и нагрузке ПЧ TМdrive имеет КПД порядка 98 %. На рис. 4 показана зависимость КПД преобразователя (с учетом трансформатора) от скорости вращения двигателя.

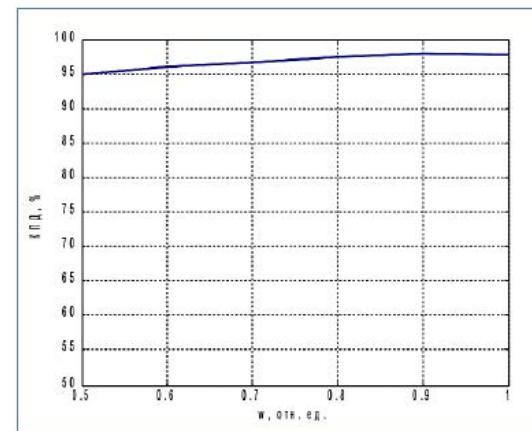


Рисунок 4 – Зависимость КПД преобразователя от скорости вращения двигателя

Ток, потребляемый из сети трансформатором с вращающимся магнитным полем, имеет практически синусоидальный характер по двум причинам. Во-первых, симметричная конструкция входного трансформатора с вращающимся магнитным полем позволяет более равномерно загружать фазы первичной обмотки и питающую сеть. При этом отсутствует несимметрия магнитных потоков, характерная для стержневых трансформаторов. Во-вторых, ток каждой из фаз первичной обмотки складывается из суммы приведенных токов вторичных обмоток. При этом, за счет сдвига по фазе

токов во вторичных обмотках, происходит компенсация влияния токов высших гармоник. Другим достоинством МВТ с вращающимся магнитным полем является отсутствие сложных соединений между вторичными обмотками разных фаз, что делает их более надежными по сравнению со стержневыми МВТ. В то же время конструкция магнитопровода у МВТ с вращающимся магнитным полем имеет более сложную конфигурацию и менее технологична в изготовлении. Кроме того, в МВТ с вращающимся магнитным полем на центральный магнитопровод с вторичными обмотками действует электромагнитный вращающий момент, что необходимо учитывать при оценке надежности. Благодаря использованию на входе ПЧ многоуровневого трансформатора с вращением фаз вторичного напряжения, коэффициент мощности по данным фирмы Mitsubishi Electric составляет не менее 0,95. Таким образом, не требуется применения конденсаторных батарей для повышения коэффициента мощности. Преобразователи сохраняют коэффициент полезного действия и коэффициент мощности на номинальном уровне при регулировании частоты выходного напряжения вниз до 30 % от номинальной частоты. КПД преобразователя частоты TMDrive составляет около 98 %, а диапазон регулирования выходной частоты 1:50. Общим недостатком МВТ является высокая стоимость, сложность реализации конструкции и алгоритма управления ПЧ, существенные потери энергии в прямых транзисторных переходах из-за большого числа ключевых элементов, особенно при высокой частоте модуляции, и значительные габаритные размеры. При построении алгоритма работы многоуровневого ПЧ мощность, потребляемая от всех выходных обмоток трансформатора, должна быть одинакова, в противном случае ухудшается симметрия магнитного поля и повышается уровень высших гармоник. Кроме того, одни обмотки могут быть недогружены, а другие могут перегреваться. Решают такую проблему строго синхронным управлением, при котором временные диаграммы работы всех инверторных ячеек одинаковы, со сдвигом на половину периода выходной частоты от ячейки к ячейке [7, с. 308–313]. Однако при таком способе управления мощность, потребляемая от обмоток трансформатора, будет одинаковой лишь в тех случаях, когда коэффициент мощности близок к единице, нагрузка двигателя постоянна, и не происходит никаких переходных процессов. На практике нагрузка электродвигателей и их коэффициент мощности изменяются. При этом свойства многоуровневых ПЧ с МВТ будут зависеть от нагрузки и скорости вращения двигателей.

ВЫВОДЫ

1. В статье предложена классификация МВТ по конструктивному исполнению, принципу действия и способу получения фазового сдвига

между напряжениями вторичных обмоток. По конструктивному исполнению магнитопроводов и размещению обмоток все разновидности МВТ для многоуровневых инверторов можно разбить на МВТ с расположением обмоток на параллельных стержнях или стержневые МВТ; МВТ с размещением обмоток на радиальных стержнях (радиальные МВТ) и МВТ с цилиндрическими магнитопроводами. По принципу действия предложено выделять МВТ с трансформаторной ЭДС или трансформаторы с неподвижным магнитным полем, и МВТ с ЭДС вращения, или трансформаторы с вращающимся магнитным полем. По способу получения фазового сдвига между напряжениями двух смежных вторичных обмоток можно выделить два основных типа МВТ: входные трансформаторы, в которых фазовый сдвиг достигается за счет соответствующего соединения вторичных обмоток разных фаз, и МВТ, в которых фазовый сдвиг достигается пространственным смещением вторичных обмоток.

2 Основным достоинством стержневых МВТ с неподвижным магнитным полем является простота конструкции магнитопровода. В то же время они имеют ряд недостатков, основными из которых являются: несимметрия магнитной цепи, что нарушает равенство напряжений вторичных обмоток и ухудшает гармонический состав магнитного потока, и сложность выполнения многочисленных соединений между вторичными обмотками разных фаз, что снижает надежность стержневого трансформатора.

3 Характер потребления тока из сети трансформатором с вращающимся магнитным полем практически чисто синусоидальный. Другим достоинством МВТ с вращающимся магнитным полем является отсутствие сложных соединений между вторичными обмотками разных фаз. В то же время конструкция магнитопровода у МВТ с вращающимся магнитным полем более сложная и менее технологична в изготовлении.

4 При разработке алгоритма работы многоуровневого ПЧ необходимо обеспечивать равенство мощностей, потребляемых от всех выходных обмоток МВТ, в противном случае ухудшается симметрия магнитного поля и повышается уровень высших гармоник. Кроме того, одни обмотки могут быть недогружены, а другие могут перегреваться.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Плавучая ветровая электростанция для энергоснабжения офшорных нефтегазовых платформ. Интернет ресурс: <http://renen.ru/floating-wind-farm-to-power-offshore-oil-and-gas-platforms/>.

2 Шапкенов, Б., Калиев, Б., Кайдар, А. Теория и практика энергетических преобразователей. Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и

ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. Изд. Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2014, 461 с.

3 Шапкенов, Б. К., Кайдар, М. Б., Кайдар, А. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П. Повышение энергоэффективности удаленных буровых установок. Материалы Международной научно-практической конференции «Научные основы машхуроведения – национальная идея «Мәңгілік ел», посвященной 60-летию доктора филологических наук, профессора, машхуроведа Трушева Айтмухамета Касымбаевича. – Павлодар : 2016. – С. 440–449. ISBN 978-601-238-652-3.

4 Темирханов, Е. У., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Сейтказин, С. Б., Акаев, А. М. Причины возникновения высших гармонических в сетях переменного тока и результат их воздействия. Материалы Международной научно-практической конференции «ҮШ Торайғыровские чтения», посвященной 25-летию независимости Республики Казахстан. – Павлодар : 2016 г., т. 6, – с. 327–335. ISBN 978-601-238-669-1(Т.6).

5 US Patent 5317299. Electromagnetic transformer / Dhyanchand P. J., Vaidya J., Mokadam R., Arbanella R. Issue date: May 31, 1994.

6 US Patent 7948340. Three-phase multi-winding device / Rastogi M., Osman R. H., Hammond P. W., Aiello M. F. Issue date: May 24, 2011.

7 Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б. / Повышение эффективности инверторов с прямым цифровым управлением // «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения»: IV Междунар. науч. – практ. конф., посвященная 20-летию Евразийского национального университета им Л. Н. Гумилева / – Астана, 2016. – с. 308–313. ISBN 978-9965-31-745-3, Ч.1-571 с., ISBN 978-9965-31-746-0.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов², В. П. Марковский³, А. Б. Кайдар⁴, М. Б. Кайдар⁵

Жиілік басқарылатын электр жетектерінің генерацияланған гармоникасының деңгейін төмендету

^{1,2,3}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

⁴«ХимПарк Тараз» еркін экономикалық аймағын басқару компаниясының» АҚ, Шу қ., 081127, Қазақстан Республикасы;

⁵«ҚазТрансГаз» АҚ, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

А. P. Kislov¹, B. K. Shapkenov², V. P. Markowsky³, A. B. Kaidar², M. B. Kaidar³

Reducing the level of generated harmonics of frequency-controlled electric drives

^{1,2,3}S. Toraighyrov Pavlodar State Union, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁴JSC «MC SEZ HimPark Taraz», Shu, 081127, Republic of Kazakhstan;

⁵JSC «KazTransGas», 010000, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада қайталама орамдардың кернеулері арасындағы фазалық ығысуды алудың конструкциясына, жұмыс принципіне және алу әдісіне сәйкес көп айналымды енгізу трансформаторларын (КТЕТ) жіктеу ұсынылады. Магниттерді конструкциялық найдалану және орамалардың орналасуы арқылы КТЕТ параллельді шыбықтар немесе КТЕТ шоқтарын орналастыру арқылы көп деңгейлі инверторлар үшін КТЕТ-ты ұзу ұсынылады; МВт радиалды шыбықтарға (радиалды КТЕТ) және цилиндрлік магниттік сұлбалармен КТЕТ орналастырылған.

Пайдалану қағидасына сәйкес, КТЕТ трансформаторлық ЭҚК-мен немесе тіркелген магнит өрісі бар трансформаторлардан, сондай-ақ айналма магнит өрісі бар трансформаторлардан немесе КТЕТ айналдырудан КТЕТ бөлу ұсынылды. Екі қосалқы қайталама орамның кернеуі арасындағы фазалық ауысуды алу әдісіне сәйкес, КТЕТ-ның екі негізгі түрі бөлінуі мүмкін: фазалық жыйжыуы әртүрлі фазалардың қайталама орамаларының тиісті қосылысы мен КТЕТ-ға сәйкес екінші трансформаторлардың кеңістіктік жыйжыуы арқылы қол жеткізілетін трансформаторлар.

The article proposes the classification of multiwinding input transformers (MIT) according to the design, principle of operation and method of obtaining the phase shift between the voltages of the secondary windings. It is proposed to break the MIT for multilevel inverters with the arrangement of the windings on parallel rods or rod MVT by the constructive use of the magnetic cores and the placement of the windings; MIT with the placement of the windings on radial rods (radial MIT) and MIT with cylindrical magnetic circuits.

According to the principle of operation, it was proposed to allocate MIT from a transformer EMF or transformers with a fixed magnetic field,

and MIT with a EMF of rotation, or transformers with a rotating magnetic field. According to the method of obtaining the phase shift between the voltages of two adjacent secondary windings, two main types of MIT can be distinguished: input transformers in which the phase shift is achieved due to the corresponding connection of the secondary windings of different phases, and MIT, in which the phase shift is achieved by spatial displacement of the secondary windings.

ГРНТИ 28.23.15

**Э. Е. Копишев¹, И. Э. Сулейменов², И. Т. Пак³,
Д. Б. Шалтыкова⁴, Д. Матрасулова⁵, А. Бакиров⁶,
И. Молдахан⁷, И. Е. Копишев⁸**

¹к.х.н., доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

²д.х.н., профессор, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

³д.т.н., академик НАН РК, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁴к.х.н., доцент, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁵докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁶докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁷докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁸магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: eldar_kopishev@mail.ru

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ

Показано, что функционирование нейронных сетей со ступенчатой функцией активации (состояние входов и выходов нейронов может принимать только два значения) можно рассматривать с тех же позиций, что и функционирование кодов с исправлением ошибок (помехоустойчивые коды). В обоих случаях имеет место отображение множества последовательностей, содержащих двоичные переменные, на подмножество этого множества (разрешённые кодовые последовательности или образы, распознаваемые нейронной сетью). Это создает предпосылки для модернизации теории нейронных сетей с использованием результатов, получаемых при изучении помехоустойчивых кодов, в частности, позволяет сделать описание работы нейронных сетей логически более прозрачным.

Ключевые слова: нейронные сети, помехоустойчивые коды, ступенчатая активация, коды с исправлением ошибок.

ВВЕДЕНИЕ

Класс нейронных сетей, которые оперируют с двоичными переменными, является весьма обширным, они используются для решения значительного числа прикладных задач. В таких сетях на вход подается определённая совокупность двоичных переменных, которая преобразуется в другую совокупность двоичных переменных, отвечающую распознанному образу. Процедура распознавания образа такими нейронными сетями, оперирующей с двоичными переменными, может рассматриваться с тех же самых позиций, что и процедура, реализуемая при использовании помехоустойчивых кодов, примером которых являются коды Хемминга [1–3].

Действительно, процедура исправления ошибок помехоустойчивыми кодами также состоит в том, что последовательность нулей и единиц, поступающая на вход приемного устройства, преобразуется в другую последовательность нулей и единиц, которая отвечает одной из разрешенных кодовых последовательностей (или не преобразуется, в том случае, если исходная последовательность совпадает с одной из разрешенных).

С точки зрения теории множеств (Рисунок 1) использование кода с исправлением ошибки можно трактовать следующим образом.

Множество A всевозможных кодовых комбинаций разбивается на подмножества A_i , число которых равно числу разрешенных кодовых комбинаций r . Любому $a \in A_i$ ставится в соответствие кодовая комбинация с отсутствующей или исправленной ошибкой из множества B .

Процедуру распознавания образа нейронной сетью, оперирующей с двоичными переменными, можно рассматривать с точно таких же позиций. Как известно [4–7], данная процедура состоит в следующем. На входы нейронов, формирующих первый слой сети (для определенности будем говорить о сетях прямого распространения), подается совокупность двоичных переменных, трактуемых как деформированный образ, подлежащий восстановлению (распознаванию). Назначением нейронной сети является восстановление исходного образа, что полностью отвечает исправлению возможных ошибок (отклонений образа, подаваемого на входы от заданного). На выходах нейронов последнего слоя сети (предполагается, что данная сеть обучена на соответствующей совокупности образов) формируется совокупность сигналов, составляющих в совокупности исходный образ, не содержащий отклонений (ошибок).

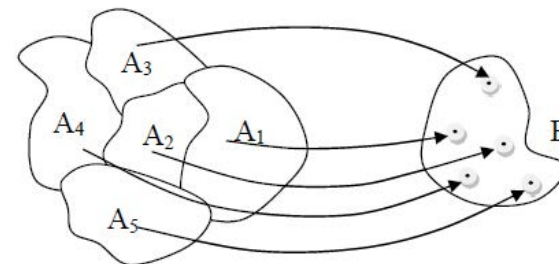


Рисунок 1 – Морфизм (сюръекция) множества A на множество B ; данный морфизм отвечает разбиению множества A на подмножества A_i , каждое из которых отвечает определенной кодовой комбинации с отсутствующей ошибкой

Очевидно, что для этой ситуации также применима схема рисунка 1. Действительно, в рассматриваемом случае нескольким элементам исходного множества (исходный образ, а также множество образов, отличающихся от него сравнительно малыми вариациями) ставится в соответствие только один элемент – образ, не содержащий ошибки.

В данной работе показано, что проведение сопоставления между нейронными сетями и помехоустойчивыми кодами создает определенные предпосылки для того, чтобы трактовать работу искусственных нейронных сетей несколько иначе, чем это имеет место в классических учебниках [8–10], а также такое сопоставление позволяет сделать описание работы нейронных сетей логически более прозрачным.

АНАЛОГ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КОДА ХЕММИНГА

Коды, допускающие исправление ошибок, широко используются в телекоммуникационной индустрии. Эти коды отличаются большим разнообразием, в частности, упомянутые выше коды Хемминга реально используются в GPS C/A (Код Хэмминга (30,24)), в ГЛОНАСС (Код Хэмминга (85,77)), в телеуправлении, телеизмерении и телесигнализации в информационно-измерительных и информационно-управляющих системах (ИИС и ИУС), в телемеханике, системах передачи данных, в технологии SMART и в модулях оперативной памяти. Также код Хэмминга используется в некоторых прикладных программах в области хранения данных, особенно в RAID 2; кроме того, метод Хэмминга давно применяется в памяти типа ECC.

Двоичный (7,4) код Хемминга, позволяющий исправлять одну ошибку и близкий к нему двоичный код (8,4) являются одним из самых простых (на практике используются такие коды как (30,24), (85,77)). Однако, именно

код (8,4) удобно использовать для иллюстрации основной идеи данной работы, в соответствии с которой нейроны, входящих в состав классических нейронных сетей следует рассматривать как элементы, выполняющие логические операции, а процедура настройки нейронной сети, основанная на подборе весовых коэффициентов может быть заменена на построение аналога нейронной сети со вполне определенной структурой связей между элементами, причем именно характер связи между элементами определяет характер распознавания образа.

А именно, ниже показано, что существует аналог нейронной сети, который обеспечивает исправление ошибок в коде Хемминга (7,4), причем процедура настройки/обучения весовых коэффициентов не используется вообще. Подчеркиваем, что речь идет именно об аналоге нейронной сети, так как ее элементы выполняют логические операции, а процедура настройки весовых коэффициентов (процедура обучения нейронной сети) полностью исключается.

Напомним суть процедуры исправления ошибки с использованием кода Хемминга (8,4) и кода (7,4).

Используются последовательности, содержащие 8 (или 7) двоичных символов

$$Q = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8) \quad (1)$$

Такая последовательность может быть передана по любому из существующих каналов связи, в которых имеются помехи. Наличие помех приводит к тому, что в последовательности (1) любой из символов может быть считан ошибочно. Помехоустойчивые коды, в частности коды Хемминга, предназначены для того, чтобы такие ошибки устранить.

Использование кода Хемминга (8,4) или кода (7,4) предполагает, что среди всех последовательностей вида (1) выбирается определенная совокупность последовательностей, каждая из которых ставит во взаимно однозначное соответствие последовательности, содержащей 4 символа

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4) \quad (2)$$

Именно эта последовательность и несет информацию, ее расширение до последовательности вида (1) предназначено для того, чтобы либо устранить ошибку (если имеется только одна ошибка), либо идентифицировать наличие двух ошибок. (Если расширенная последовательность содержит семь символов, то может быть только исправлена одна ошибка.)

Количество избыточной информации, содержащейся в последовательности вида (1) по сравнению с последовательностью вида (2) определяется из следующих соображений.

Пусть имеется исходный код вида (1). Пусть при передаче этого кода по каналу связи в нем возникает одна ошибка, т.е. вместо данного кода будет считан код, в котором один из символов изменяется на противоположный. В таком случае говорят, что считанный код удален от исходного на расстояние Хемминга, равное единице. Подчеркиваем, что все коды, удаленные от исходного на данное расстояние, должны (в результате исправления ошибки) трансформироваться в исходный.

Можно сказать, что морфизм, схематически показанный на рисунке 1, должен отображать все множество последовательностей, удаленных от исходного на заданное расстояние Хемминга в строго определенную последовательность, которая и несет исходную информацию. Соответственно, можно определить базовый код и его N-оболочку, состоящую из кодов, отличающихся от исходного на заданное расстояние Хемминга N.

Для теории помехоустойчивых кодов [11–14] приведенные соображения являются общеизвестными, но о них стоило сказать подробно, так как они справедливы, в том числе, и для процедуры распознавания образов нейронными сетями. Здесь также исходный (распознаваемый) образ может быть восстановлен тогда, когда деформированный образ (совокупность переменных, поступающих на входы нейронной сети) отличается от него на некоторое конечное расстояние Хемминга.

Вернемся к примеру кодов Хемминга (8,4) и (7,4).

Если расширенный код содержит 7 символов, то его 1-оболочка (множество кодов, отличающихся от исходного на расстояние Хемминга меньше или равно единице) будет содержать ровно 8 последовательностей. Общее количество последовательностей, содержащих 7 двоичных символов, составляет 2^7 . Разделим это число на $8 = 2^3$ (число последовательностей в оболочке отдельного исходного кода). Результат деления составляет 2^4 , что в точности равно числу возможных последовательностей вида (2), составленных из двоичных символов. Если общее число символов в последовательности составляет 2^8 , то возникает дополнительная возможность идентификации кода, содержащего две ошибки, но исправить такую ошибку нельзя.

Именно это соображение и определяет число символов в расширенной и базовой последовательностях. Его же, теоретически, можно использовать и для оценки числа образов, которые могут распознаваться нейронной сетью. (Уместно подчеркнуть, что до настоящего времени такое число определяется преимущественно эмпирически по результатам численных экспериментов [11–13,15].)

Отталкиваясь от приведенных выше элементарных соображений, можно построить следующую процедуру исправления ошибок, основанную на использовании логических операций. Данная процедура несколько отличается от стандартной процедуры, используемой при исправлении ошибок помехоустойчивыми кодами, но именно ее удобно использовать для целей данной работы.

Перейдем от кодов (упорядоченных последовательностей), в которых используются логические нули и единицы к последовательностям, элементы которой принимают значения -1 или $+1$. Очевидно, что между таким представлением кода и последовательностями, в которых используются нули и единицы, может быть установлено взаимно-однозначное соответствие

$$0 \leftrightarrow +1; 1 \leftrightarrow -1 \quad (3)$$

Установление именно такого соответствия оправдывается тем, что по отношению к операции умножения группа $(+1, -1)$ ведет себя точно так же, как группа $(0, 1)$ по отношению к операции сложения по модулю 2:

$$-1 \cdot -1 = 1 \quad (4)$$

$$1 + 1 = 0 \quad (5)$$

Построение кодов Хемминга основывается на принципе проверки на четность числа единичных символов: к последовательности добавляется такой элемент, чтобы число единичных символов в получившейся последовательности было четным. Однако, подчеркнем еще раз, в данной работе используется несколько другая процедура построения кодов (8,4) и (7,4) с исправлением ошибки, которая делает наглядной процедуру исправления ошибки с использованием логических операций.

Будем рассматривать последовательности из четырех элементов

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4) \quad (6)$$

и построим расширение такой последовательности до 8 символов, которое позволяет исправлять ошибки через использование операции скалярного произведения, которую затем приведем к логическим операциям.

Определим четность последовательности $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$

$$U(A) = \pm 1. \quad (7)$$

следующим образом. Будем считать, что U равно $+1$ если последовательность (7) четная, т.е. количество элементов, равных $+1$, в этой последовательности четно и равно -1 в противном случае.

Будем использовать отображение R

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) \xrightarrow{R} (b_1, b_2, b_3, b_4), \quad (8)$$

определяемое в соответствии с правилом

$$B = (b_1, b_2, b_3, b_4) = U(A) \cdot (a_1, a_2, a_3, a_4) = U(A) \cdot A \quad (9)$$

Формула (9) означает, что если исходная последовательность A четная, то последовательность B с ней совпадает, а если последовательность A нечетная, то последовательность B отличается от исходной операцией инверсии (все элементы меняют знак на противоположный)

Построим расширенный код, предназначенный для исправления ошибок в соответствии с записью

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) \xrightarrow{W} (a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (10)$$

Для такого объединенного кода справедливо следующее утверждение. Расстояние Хемминга $L\{A, B\}$ между всеми кодами, построенными с использованием отображения W или равно 0 (сравниваемые коды совпадают) или 4 или 8. Доказательство этого утверждения легко получить непосредственной проверкой: все несовпадающие коды, сформированные по правилу (8) удалены друг от друга на расстояние Хемминга большее или равное четырем.

Отыщем критерий, обеспечивающий исправление ошибки. Сформируем скалярное произведение

$$A \cdot B = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 + a_4 b_4 \quad (11)$$

При условии, что в последовательности

$$(A, B), \quad (12)$$

образованной по правилам (7) и (8) нет ошибок, скалярное произведение $A \cdot B$ принимает или значение 4 (четная исходная последовательность A , все $a_i = b_i$) или значение -4 (нечетная исходная последовательность A , все $a_i = -b_i$).

При условии, что в последовательности имеется *только одна* ошибка, либо последовательность A (первые четыре символа расширенной

последовательности) не содержит ошибки, либо ошибки не содержит последовательность B (последние четыре символа расширенной последовательности). При этом из двух комбинаций A и B одна обязательно будет четной, а другая – нечетной (при условии, что имеет место только одна ошибка).

Следовательно, исправление одной ошибки сводится к альтернативе – какая из последовательностей A или B истинна. Одна ошибка изменяет значение скалярного произведения (9) на 2, т.е. получаемые значения будут равны -2 или $+2$ соответственно. Значение $A \cdot B = -2$ означает, что исходная комбинация была нечетной, а $A \cdot B = 2$ – четной. Иными словами, если результат положительный, то верна та из комбинаций A или B , которая является четной, если отрицательный – нечетной.

Таким образом, процедура исправления ошибки сводится к определению скалярного произведения (9) и четности последовательностей, состоящих из четырех первых и четырех последних символов.

Аналогичные соображения справедливы и для кода Хемминга (7,4). Отличие состоит в том, что при построении расширенной последовательности используется только три дополнительных символа.

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) \xrightarrow{W} (a_1, a_2, a_3, a_4, b_2, b_3, b_4) \quad (13)$$

Причем, как и выше

$$B = (b_2, b_3, b_4) = U(A) \cdot (a_2, a_3, a_4) = U(A) \cdot A \quad (14)$$

где $U(A)$, как и выше, есть четность исходной последовательности (a_1, a_2, a_3, a_4) .

Критерий (11) остается применимым, только теперь в него входят две тройки величин.

$$A \cdot B = b_2 + a_3 b_3 + a_4 b_4 \quad (15)$$

Скалярное произведение (15) может принимать значения из множества $\{+3, +1, -1, -3\}$. Значения $+3$ и -3 означают, что в последних шести символах расширенной последовательности (a_2, a_3, \dots, b_4) нет ошибки. Значения $+1$ и -1 означают, что именно в этой части расширенной последовательности есть ошибка, причем знак «+» означает, что исходная последовательность (a_1, a_2, a_3, a_4) была четной, а «-» – нечетной. Другими словами, из двух последовательностей

$$(a_2, a_3, a_4) \text{ и } (b_2, b_3, b_4) \quad (16)$$

ошибки будет не содержать та, четность которой совпадает с четностью исходной последовательности $U(A)$.

Наличие или отсутствие ошибки в первом символе a_1 , очевидно, можно диагностировать, сравнивая знак произведения (15) с четностью последовательности (a_1, a_2, a_3, a_4) , которая была получена при передаче.

Таким образом, для исправления возможной ошибки в полученной последовательности

$$P = (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7) \quad (17)$$

достаточно определить три двоичные переменные

$$U_1 = \begin{cases} 1; p_1 p_2 p_3 p_4 = +1 \\ 0; p_1 p_2 p_3 p_4 = -1 \end{cases} \quad (18)$$

$$U_2 = \begin{cases} 1; p_2 p_5 + p_3 p_6 + p_4 p_7 = +3, -3 \\ 0; p_2 p_5 + p_3 p_6 + p_4 p_7 = +1, -1 \end{cases} \quad (19)$$

$$U_3 = \begin{cases} 1; p_2 p_5 + p_3 p_6 + p_4 p_7 > 0 \\ 0; p_2 p_5 + p_3 p_6 + p_4 p_7 < 0 \end{cases} \quad (20)$$

Сопоставление величин (18) – (20) друг с другом позволяет идентифицировать наличие ошибки и ее местоположение в том случае, если она есть.

Вместо выражений (18) – (20), которые записаны в кодировке $\{+1, -1\}$ можно использовать и логические выражения, записанные в исходной $\{0, 1\}$ кодировке.

А именно,

$$U_1 = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 \quad (21)$$

$$U_2 = q_1 q_2 + q_2 q_3 + q_3 q_1 + q_1 + q_2 + q_3 + 1 \quad (22)$$

$$U_3 = q_1 q_2 + q_2 q_3 + q_3 q_1 \quad (23)$$

$$q_1 = p_2 + p_5 + 1; q_2 = p_3 + p_6 + 1; q_3 = p_4 + p_7 + 1 \quad (24)$$

где сложение выполняется по модулю 2, в частности, величина q_i равна 1 тогда, когда p_i и p_j совпадают и равна нулю, когда они не совпадают.

Фрагмент последовательности (p_2, p_3, p_4) НЕ содержит ошибки, если U_2 равно 1 ИЛИ U_1 и U_3 равны друг другу. Соответствующее логическое выражение имеет вид

$$J = (U_2 + 1)(U_1 + U_3) + 1 \quad (25)$$

Если $J = 0$, то ошибки НЕ содержит фрагмент (p_5, p_6, p_7) .

Первый символ НЕ содержит ошибки, если $U_1 = U_2$, т.е. полученная и ожидаемая четности совпадают.

Соответственно, для исправленного кода можно записать следующие логические выражения

$$a_1 = p_1 + U_1 + U_2 \quad (26)$$

$$a_2 = J(p_2 + p_5) + p_5 \quad (27)$$

$$a_3 = J(p_3 + p_6) + p_6 \quad (28)$$

$$a_3 = J(p_4 + p_7) + p_7 \quad (29)$$

Подставляя (24) в (22) можно получить явное выражение для параметра U_2

$$U_3 = (p_2 + p_5)(p_3 + p_6) + (p_4 + p_7)(p_3 + p_6) + (p_2 + p_5)(p_4 + p_7) + 1 \quad (30)$$

Аналогично,

$$U_2 = U_2 + p_2 + p_5 + p_3 + p_6 + p_4 + p_7 + 1 \quad (31)$$

Очевидно, что можно реализовать схему, собранную на типовых логических элементах, которая будет совершать указанные выше логические операции, обеспечивающие исправление ошибки (рис.2). Однако, те же логические операции могут быть выполнены и на основании элементов, выполняющих операцию скалярного произведения, т.е. на элементах, осуществляющих ту же самую операцию, что и классический нейрон, если только понимать под нейроном элемент, показанный на рис.3.

Данный элемент обладает $2N$ входами и описывается обычной формулой

$$Y = \theta(w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_NX_N + w_0) \quad (32)$$

где w_1 – весовые коэффициенты, X_1 – переменные, описывающие состояние входов нейрона, функция активации имеет вид:

$$\theta(x) = \begin{cases} -1, & x \leq 0 \\ +1, & x > 0 \end{cases} \quad (33)$$

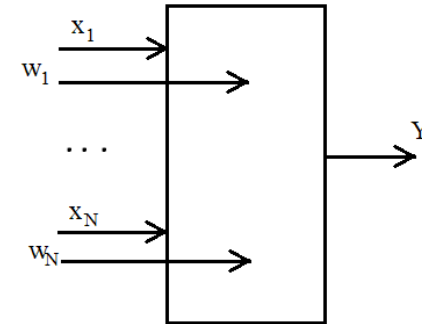


Рисунок 2 – Схема формального нейрона, учитывающая входы для записи весовых коэффициентов

Такой элемент будет выполнять операцию определения четности исходной комбинации, если положить

$$U_3 = \theta(p_2p_5 + p_3p_6 + p_4p_7) \quad (34)$$

Данная запись полностью отвечает формуле для классического формального нейрона (32)

Операция по проверке отсутствия ошибки дается записью

$$U_2 = \theta(U_3p_2p_5 + U_3p_3p_6 + U_3p_4p_7) \quad (35)$$

Ее также можно рассматривать как выполнении операции вида (32), если понимать под одним из перемножаемых скалярно векторов совокупность

$$P_2 = (p_2p_5, p_3p_6, p_4p_7) \quad (36)$$

а под другим – совокупность (U_3, U_3, U_3)

Соответственно, можно предложить следующую схему нейронной сети, отличающейся тем, что на входы, соответствующие весовым коэффициентам также подаются обрабатываемые сигналы, обеспечивающую исправление ошибки в коде Хемминга (рис.3).

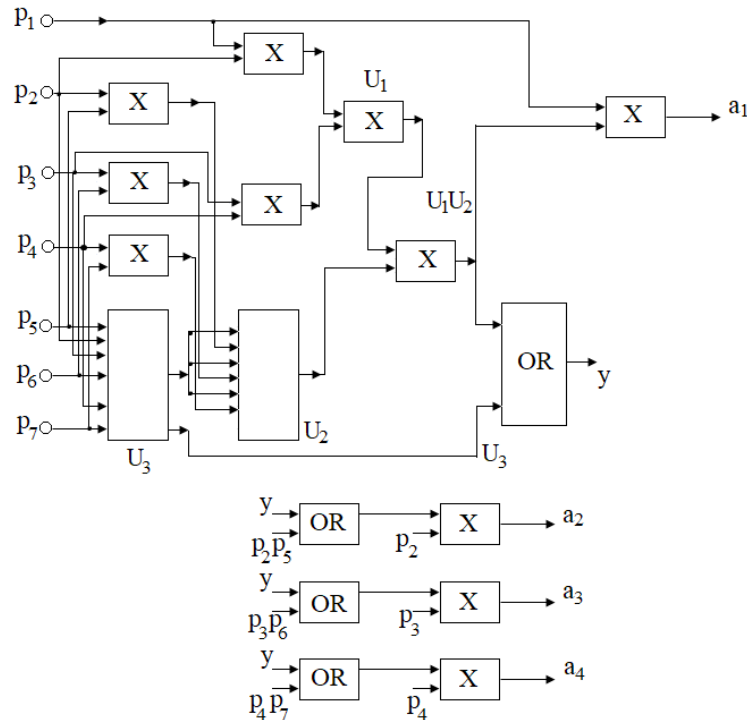


Рисунок 3 – Нейронная сеть, обеспечивающая исправление ошибок кода Хемминга (7,4)

В первом слое расположены элементы, обеспечивающие вычисление величин, входящих в последовательность (36), т.е. произведений элементов считанного кода в кодировке (+1,-1) и величины U_3 . Подчеркиваем, что вычисление произведений, стоящих в (36), формально также отвечает операции вида, когда под знаком θ стоит единственное произведение.

Далее, сигнал, соответствующий произведениям (36), и величине U_3 подается на элементы, обеспечивающие вычисление четности кода

$$U_1 = p_1 p_2 p_3 p_4 \quad (37)$$

и элементу, выполняющему отыскание величины J в кодировке (+1,-1).

Операция (25), т.е. операция ИЛИ также может быть выполнена элементом, выполняющим операцию вида (32), если положить

$$J = \theta(U_1 U_3 + U_2 + 0,5) \quad (38)$$

В последнем слое сети стоят элементы, обеспечивающие вычисление операций (26)–(29) также с использованием схемы ИЛИ, которая реализуется при помощи операции, аналогичной (38).

ВЫВОДЫ

Таким образом можно предложить как схему основанную на логических элементах так и схему основанную на элементах, которые выполняют те же функции что и формальные нейроны, которые будут выполнять одну и ту же функцию, то есть исправление ошибок в коде Хэмминга. Этот конкретный, хотя и достаточно простой, пример показывает, что взаимное соответствие между нейронными сетями и кодами с исправлениями ошибки действительно правомочно. Отсюда вытекает целый ряд достаточно серьезных выводов. Прежде всего можно сказать следующее. Предположим, что у нас имеется процедура исправления ошибок в коде Хэмминга, который содержит достаточно большую последовательность передаваемых символов. Эти символы могут быть использованы для того, чтобы создать соответствующий образ, который далее может быть исправлен в полном соответствии с процедурами развитыми в теории кода Хэмминга или в их модификациях по аналогии с теми процедурами, которые были предложены в данной работе. Получается, что в этом случае процедура распознавания образа становится, во-первых, становится полностью алгоритмуемой, а во-вторых, становится очевидным что такое понятие как весовые коэффициенты нейронной сети может быть использовано далеко не всегда. В частности, это сопоставление показывает, что процедур коррекции образов, или что тоже самое, процедур распознавания образов, существует конечное число. Если, конечно, говорить о максимально полном использовании возможности корректирующих процедур. Существуют такие процедуры как распознавание кода Хэмминга (8,4), которые реализуют соответствующие возможности не в полной мере, потому что количество знаков, на которые расширяется исходная последовательность, не является оптимальным, как то и показывает пример кода Хэмминга (8,4). Однако же если соотношение количества знаков в исходном коде и в расширенном коде является оптимальным, то есть отвечает вполне определенному расстоянию Хэмминга, то тогда количество образов, которые может распознавать соответствующая нейронная сеть является строго фиксированным. Более того в данном случае процедуры, осуществляющие распознавание образов, не только не используют настройку весовых коэффициентов, но и сам процесс коррекции определяется исключительно только архитектурой нейронной сети, то есть характером соединения элементов друг с другом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Nikseresht, A.** Dual of codes over finite quotients of polynomial rings // Finite Fields their Appl. 2017.
- 2 **Sharma, A., Rani, S.** On constacyclic codes over finite fields // Cryptogr. Commun. 2016.
- 3 **Reed, I. S., Solomon, G.** Polynomial Codes Over Certain Finite Fields // J. Soc. Ind. Appl. Math. 1960.
- 4 **Lippmann, R. P.** An Introduction to Computing with Neural Nets // IEEE ASSP Mag. 1987.
- 5 Raul Rojas. Neural Networks: A Systematic introduction // Neural Networks. 1996.
- 6 **Srinivas, S. et al.** An Introduction to Deep Convolutional Neural Nets for Computer Vision // Deep Learning for Medical Image Analysis. 2017.
- 7 **Hertz, J., Krogh, A., Palmer, R. G.** Introduction to the theory of neural computation // Introduction to the Theory of Neural Computation. 2018.
- 8 **Haykin, S.** Neural Networks and Learning Machines: A Comprehensive Foundation // arXiv preprint. 2008.
- 9 **Guan, Z.-H.** Introduction To Hybrid Intelligent Networks. Springer, 2019.
- 10 **Aggarwal, C. C.** Neural networks and deep learning : a textbook. 497 p.
- 11 **Escalera, S., Pujol, O., Radeva, P.** On the decoding process in ternary error-correcting output codes // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2010.
- 12 **Curto, C. et al.** Combinatorial neural codes from a mathematical coding theory perspective // Neural Computation. 2013.
- 13 **Terhal, B. M.** Quantum error correction for quantum memories // Rev. Mod. Phys. 2015. Vol. 87, № 2. P. 307–346.
- 14 **Peterson, W. W.** (William W., Weldon E.J. Error-correcting codes. MIT Press, 1972. 560 p.
- 15 **Romadhon, A. S., Budiarto, H.** Pattern Recognition Letters and Numbers Handwriting by Using Backpropagation and Genetic Algorithms Methods // Adv. Sci. Lett. 26650 The Old Rd, Ste 208, Valencia, CA 91381-0751 USA: Amer Scientific Publishers, 2017. Vol. 23, № 12. P. 12420–12423.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Э. Е. Копишев¹, И. Э. Сулейменов², И. Т. Пак³, Д. Б. Шалтыкова⁴,
Д. Матрасулова⁵, А. Бакиров⁶, И. Молдахан⁷, И. Е. Копишев⁸

Нейрондық желілердің жұмыс істеуі шуылға төзімді кодтардың теориясы тұрғысынан

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{2,3}Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,
Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

^{4,5,6,7}Алматы энергетика және байланыс университет,
Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

⁸С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

*E. E. Kopishev¹, I. E. Suleimenov², I. T. Pak³, D. B. Shaltikova⁴,
D. Matrassulova⁵, A. Bakirov⁶, I. Moldahan⁷, I. E. Kopishev⁸*

The functioning of artificial neural networks from the point of view of the theory of noise-resistant codes

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

^{2,3}Institute of Information and Computational Technologies,
Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

^{4,5,6,7}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,
Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

⁸S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Нейрондық желілерді кезең-кезеңмен белсендіру функциясымен (нейрондық кіріс және шығыс күйі тек екі мәнді қабылдай алады) жұмыс істеуі қателерді түзету кодтары (қателерді түзету кодтары) сияқты бірдей позициялардан көруге болады. Екі жағдайда екілік айнымалы мәндерді қамтитын тізбектер жиынтығы осы жиындардың жиынтығына (нейрондық желі арқылы танылған рұқсат етілген кодтық жүйе немесе суреттер) салыстырылады. Бұл шуылға төзімді кодтарды зерттеу кезінде алынған нәтижелерді пайдалана отырып, нейрондық желілердің теориясын модернизациялаудың алғышарттарын жасайды, атап

айтқанда, нейрондық желілердің жұмысының сипаттамасын логикалық түрде айқынырақ етуге мүмкіндік береді.

There is shown that the functioning of neural networks with a stepwise activation function (the state of the inputs and outputs of neurons can take only two values) can be viewed from the same positions as the operation of error-correcting codes (error-correcting codes). In both cases, the set of sequences containing binary variables is mapped onto a subset of this set (allowed code sequences or images recognized by the neural network). This creates the prerequisites for the modernization of the theory of neural networks using the results obtained in the study of noise-resistant codes, in particular, allows us to make the description of the operation of neural networks logically more transparent.

ГРНТИ 61. 51. 15

**М. Е. Крикунов¹, Т. А. Калиев²,
У. С. Дюсекенова³, А. Байкен⁴**

¹магистрант, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистр техники и технологии., старший преподаватель, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³магистр естественных наук, ст. преподаватель, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴преподаватель, Факультет химических технологий и естествознания, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

e-mail: ¹mishpay@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОЦЕССОМ ГИДРООБЕССЕРИВАНИЯ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с процессами гидроочистки вакуумного газойля, которые являются важнейшими составляющими нефтеперерабатывающей промышленности нашей страны.

Исследовались и анализировались различные материалы, касающиеся вопросов удаления сернистых, азотистых, кислородосодержащих и металлоорганических соединений из вакуумного газойля, который является сырьём каталитического крекинга.

Приводится перечень проблем, связанных с данной сферой нефтепереработки, говорится о всё более ужесточающихся требованиях, предъявляемых потребителями к моторным топливам. Указываются ссылки на исследования различных учёных в данной области (в том числе зарубежных.) Кроме того отмечается, что серьёзной проблемой, с которой сталкиваются нефтепереработчики в сфере гидроочистки вакуумных газойлей является наличие в сырье трудновыводимых сероорганических соединений, а также в свою

очередь торможение реакции гидрирования продуктами, уже подвергшимися гидрогенизации. И освящается вопрос осаждения механических частиц на поверхности катализатора гидроочистки.

Ключевые слова: сероорганические соединения, реактор гетеросоединения, процесс гидрообессеривания.

ВВЕДЕНИЕ

В то время как мировые запасы нефти всё более и более истощаются, а остаются, в основном, месторождения с наиболее тяжёлой и загрязнённой нефтью, экологические законодательства всего мира призывают к использованию всё более и более очищенных топлив, вынуждая нефтепереработчиков дальнейшим капиталовложениям в целях соответствия выпускаемой продукции непрерывно ужесточающимся нормативным требованиям и условиям рынка. К тому же, за счёт увеличения численности населения планеты растёт соответственно и спрос на различные топлива.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Гидрообессеривание. Фракция светлых дистиллятов, являющаяся побочным продуктом каталитического крекинга с псевдоожиженным слоем катализатора, стабильно сбываемая в качестве печного топлива, весьма богата ароматическими серо- и азотосодержащими соединениями.

Зарубежный учёный Ульф Нилен в своей работе «Характеристика алкилированных ароматических серосодержащих соединений в вакуумном газойле с помощью газового хроматографа и хемлюминесцентного способа определения серы» предлагает обратить внимание на возможность получения высококачественного смешанного компонента дизельного топлива с помощью двухступенчатого каталитического процесса. На первом этапе фракция светлых дистиллятов направляется на установку гидроочистки, где удаляются гетероатомы и насыщаются полиарены. На втором этапе происходит раскрытие нафтеновых колец, содержащихся в сырье, что способствует улучшению цетанового числа конечного продукта [1].

Состоятельность такого процесса во многом зависит от характеристики катализатора, применяемого на разных этапах процесса. Основными его параметрами являются: активность, селективность, стабильность и устойчивость к отравлениям. Хорошо известно, что сера действует как каталитический яд, в частности, в случае катализатора, промотированного благородными металлами. В целях обнаружения следов трудно выводимых серосодержащих соединений, предельно важным для производителей катализаторов и нефтепереработчиков является способность проследить изменение содержания серы на протяжении всего процесса переработки,

от сырья до конечного продукта, следовательно, свойства катализатора и условия процесса должны быть оптимизированы. Такими трудно выводимыми соединениями являются алкилированные бензтиофены и дибензтиофены, содержащиеся во фракции светлых дистиллятов [1].

Тот же учёный У. Нилен в своей работе проводил исследования касательно содержания различных сероорганических соединений во фракции светлых дистиллятов. Данные исследования проводились с помощью хроматографа высокого расширения, соединённого с серочувствительным датчиком. Исследование проводилось в отношении индивидуальных сернистых соединений, а также на общее содержание серы. Всего было выявлено и подсчитано 29 серосодержащих соединений (моно-, ди-, триалкилированные бензтиофены, моно- и диалкилированные дибензтиофены и т. д.) В ходе исследования был отмечен существенный сдвиг в сторону наиболее тяжёлых 3-бензтиофенов и 3-дибензтиофенов [1 с. 234]. На рисунке 1 показаны схемы бенз- и дибензтиофена соответственно

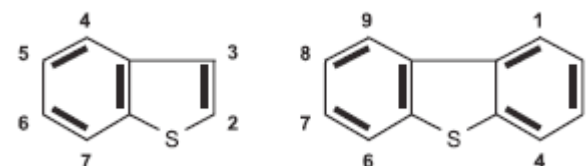


Рисунок 1 – Схемы бенз- и дибензтиофена (слева направо)

Индийский учёный Т. Колтай учёный доказал, что дальнейшая гидрообессеривающая активность катализатора по отношению к тяжёлым сероорганическим соединениям (в данном, конкретном случае к такому конденсированному соединению 4,6-диметилдибензотиофену замедляется за счёт сопротивления со стороны продуктов, уже подвергшихся гидрогенизации. Особенно это касается поликонденсированных аренов и азотосодержащих соединений (фенантрен, флуорен, акридин, карбазол и т. д.).

2 Осаждение мелких частиц на поверхности катализатора. Как известно, реакции удаления гетероатомов (серы, азота и кислорода) протекают на поверхности специального катализатора, заполняющего реактор гидроочистки. Однако, помимо гетеросоединений в составе сырья присутствуют и другие соединения, негативно влияющие на эффективность процесса. Так, например, некоторые газойли, полученные из битума, содержат механические примеси (частицы песка и глины), на поверхности которых адсорбируются такие органические вещества, как асфальтены. Частицы, размер которых, как правило менее 20 мкм, поступают в реактор вместе с сырьём, так как сырьевые фильтры не в состоянии уловить данные

частицы. Попавшие в реактор гидрооблагораживания механические частицы осаждаются на поверхности катализатора, и способствуя его преждевременной дезактивации и вызывая скачки давления, что также негативно сказывается на работе реактора. Концентрация частиц, увлекаемых в реактор вместе с сырьём, как правило, не превышает 100–200 ppm, однако длительное их воздействие на поверхность катализатора приводит, соответственно, и к большому их осаждению. Это приводит к заполнению пустот в объёме катализатора и постепенно происходит окончательное его засорение. Как показали наблюдения, активно осаждаются частицы глины, содержащиеся в вакуумном газойле [2].

Предпринималось несколько попыток, объяснения причины внезапного роста давления, и, в целом, было установлено, что взаимодействие механических причин с катализатором напрямую зависит от природы этих частиц. Было выявлено, что окисление кислорода до воды приводит к десорбции из глины асфальтенов и притяжению их к образовавшейся воде, вследствие чего твёрдая поверхность начинает проявлять гидрофильные свойства, что, в свою очередь, усиливает процесс осаждения частиц. С целью создания модели скачка давления и динамики механических частиц было проведено несколько исследований. Так, например, индийские учёные Р. Нараян, Р. Коури и др. считали, что скачок давления происходит вследствие заполнения пустот в слое катализатора и накопления частиц глины на самих гранулах, причём это наиболее резко проявляется, когда частицы не увлекаются потоком сырья, т. е. при небольшой его скорости. Однако, как показали дальнейшие исследования, даже тогда, когда сырьё проходит через поры катализатора, частицы вымываются потоком и также осаждаются в других местах [3].

Зарубежные учёные Р. Рана, К. Далай, Й. Ху, Д. Аджая в своей работе «Осаждение мелких частиц из вакуумного газойля на поверхности катализатора гидроочистки. Влияние параметров процесса и варианты фильтрации» провели исследование, посвящённое данной проблеме. С целью исследования теплового эффекта механических частиц при температуре 365 0 С и воздействии водорода под давлением 1300 ати были проведены две отдельные реакции. Однако, обе эти реакции осуществлялись в отсутствие катализатора, а вместо него в корзины были сложены стеклянные шары и карбид кремния. Сделано это было для того, чтобы отследить осаждение мелких частиц при отсутствии катализатора и изучить ход превращений сернистых соединений в ходе эксперимента. Учёные не обнаружили никаких признаков осаждения частиц на поверхности «заменителей катализатора». Также, не было выявлено никаких изменений касаясь сероорганических соединений, содержащихся в сырьё. Результаты материального баланса

показали, что сырьё с повышенным содержанием асфальтеносодержащего каолина дало больше осажённых частиц, чем сырьё содержащее обычный каолин. Это связано с тем, что каолин состоит из частичек глины и не подвергается изменениям в условиях гидроочистки. В случае, же асфальтеносодержащего каолина, из его состава в условиях гидроочистки выделяются асфальтены, которые, однако, благодаря отсутствию катализатора не вступают в химическое взаимодействие с веществом катализатора. На рисунке 1. показаны фотографии стеклянных шаров с механическими примесями (чёрные частицы) в присутствии катализатора (а), а также без механических примесей в отсутствие катализатора [2].



Рисунок 1 – Стеклянные шары вместе с катализатором и без него

В ходе исследований учёные пришли к выводу, что температура также является важнейшим параметром процесса гидроочистки, который влияет на осаждение частиц. С повышением температуры наблюдается интенсификация осаждения, что связано с большей скоростью десорбции асфальтенов из каолина при высокой температуре. Другой причиной может быть образование при таких температурах кокса который может вступать в химическое взаимодействие с алюмосиликатной составляющей катализатора. В данном случае больший размер частиц способствует меньшему их осаждению. Больше всего осаждаются частицы асфальтеносодержащего каолина. Таким образом, исследования показали, что осаждение частиц имеет не только физический аспект. Образование слоя вокруг частиц катализатора и заполнение пустот, затрудняют проходимость нефтепродукта, что у приводит к увеличению давления внутри реактора [2].

ВЫВОДЫ

В ходе написания статьи исследовались и анализировались различные материалы, касающиеся проблемы удаления сернистых, азотистых,

кислородосодержащих и металлоорганических соединений из вакуумного газойля, который является сырьём каталитического крекинга. В основном рассматривались работы зарубежных учёных (шведских, индийских), занимающихся изучением процессов нефтепереработки. На основании этих работ была собрана информация, которая послужила базой для написания статьи.

Исходя из имеющейся информации, можно прийти к выводу, что нефтеперерабатывающая промышленность сталкивается с целым рядом проблем, связанных с процессом гидрообессеривания вакуумного газойля и требующих решения для соответствия выпускаемой продукции всё более ужесточающимся требованиям в области топлив (главным образом, бензина и дизельных топлив). В частности, к данным проблемам относятся:

- 1) Замедление скорости реакции гидрообессеривания продуктами данной реакции, что особенно касается поликонденсированных аренов и азотосодержащих соединений (фенантрен, флуорен, акридин, карбазол и т. д.);
- 2) Засорение катализатора гидроочистки механическими примесями, содержащимися в сырье;
- 3) Ужесточение норм и требований, предъявляемых экологическими службами к качеству дизельных топлив и бензина в области содержания сернистых соединений.

Таким образом, нефтеперерабатывающая промышленность вынуждена рассматривать новые альтернативы переработки тяжёлого сырья и, в дополнение, увеличивать производство лёгких нефтепродуктов, таких, как бензин и дизельное топливо.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Нилен, У., Делгадо, Х. Ф., Яраас, С., Боутоннет, М.** Характеристика алкилированных ароматических серосодержащих соединений в вакуумном газойле с помощью газового хроматографа и хемелюминесцентного способа определения серы. – Швеция, Стокгольм, Департамент химической инженерии, Королевский технологический институт, 2004. 223 – 224, 234 с.

2 **Рана, Р., Далай, К., Ху, Й., Аджас, Д.** Осаждение мелких частиц из вакуумного газойля на поверхности катализатора гидроочистки. Влияние параметров процесса и варианты фильтрации. – Канада, Саскатун, Саскатчеванский университет химической и биологической инженерии, 2017, 223, 226, 230 с.

3 **Нараян, Р., Коури, Р., Маслях, Д. Х., Грэй, М. Р.** Засорение реактора со стационарным слоем катализатора механическими частицами. Британия, Лондон, Индо-Британский химический институт, 1997, 36 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

М. Е. Крикунов¹, Т. А. Калиев², У. С. Дюсекенова³, А. Байкен⁴

Вакуумдық газойльді гидрокүкіртсіздендіру процессімен байланысты мәселелер

^{1,2,3,4}Химиялық технологиялар және жаратылыстану факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

M. E. Krikunov¹, T. A. Kaliyev², U. S. Dyusekenova³, A. Baiken⁴

The problems, related with the process of hydrodesulfurisation of vacuum gas oil

^{1,2,3,4}Faculty of Chemical Technologies and Natural Science,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада біздің еліміздегі мұнай өндіру өнеркәсібінің аса маңызды бөліктері деп саналатын вакуумдық газойльді гидротазарту процессімен байланысты мәселелер қарастырылады.

Каталитикалық крекинг шикізаты болып табылатын вакуумдық газ майынан күкіртті, азотты, оттекті және органометаллды қосылыстарды жоюға қатысты түрлі материалдар зерттелді және талданды.

Мұнай өңдеу саласының осыған байланысты мәселелердің тізбесі келтірілген, ал тұтынушылардың қозғалтқыш отынына қойған қатаң талаптары туралы айтылады. Сонымен қатар, вакуумдық газ майларын гидротазарту саласында мұнай өңдеушілердің алдында тұрған маңызды проблема шикізатта қатты органо-күкірт қосылыстарының болуы, сондай-ақ өнімдермен гидрогенизация реакциясын болдырмау болып табылады деп атап өтіледі. қазірдің өзінде гидрирленген. Ал гидротазалаушы катализатордың бетіне механикалық бөлшектердің түндыру мәселесін шешеді.

The article deals with issues related to the hydrotreatment of vacuum gas oil, which are the most important components of the oil refining industry in our country.

Various materials were investigated and analyzed concerning the removal of sulfur, nitrogenous, oxygen-containing and organometallic

compounds from vacuum gas oil, which is the raw material of catalytic cracking.

A list of problems associated with this field of oil refining is given, and the increasingly stringent requirements imposed by consumers on motor fuels are mentioned. Reference is made to the studies of various scientists in this field (including foreign ones.) In addition, it is noted that the serious problem faced by oil refiners in the field of hydrotreatment of vacuum gas oils is the presence of stubborn organo-sulfur compounds in the feedstock, as well as the inhibition of the hydrogenation reaction with products already hydrogenated. And settles the issue of deposition of mechanical particles on the surface of a hydrotreating catalyst.

SRSTI 44.29.01

**V. P. Markowsky¹, B. K. Shapkenov², A. P. Kislov³,
A. B. Kaidar⁴, M. B. Kaidar⁵, O. M. Talipov⁶**

¹Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

³Candidate of Technical Sciences, Professor, S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁴General manager of JSC «MC SEZ HimPark Taraz» Shu, 081127, Republic of Kazakhstan;

⁵Manager of JSC «KazTransGas», Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;

⁶PhD, senior teacher, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

e-mail: ¹wadim54@mail.ru; ²argin_intel@mail.ru; ³kislovpsu@mail.ru;

⁴argin_intel@mail.ru; ⁵m.kaidar@amangeldygas.kz;

⁶olzhas_dn1_olzhas_dn1@mail.ru

THE MODEL AND SIMULATION OF A VARIABLE SPEED WIND TURBINE USING DFIG UNDER MATLAB/SIMPOWERSYSTEM

This paper presented the modeling and simulation of a variable speed wind turbine using fed induction generator (DFIG) under Matlab/SimPowerSystem.

Firstly an analytical model of wind turbine was presented and power coefficient characteristics were investigated.

This model of wind turbine can later serve to build hybrid energy supply in combination with other renewable energies that could also be modeled using the same software.

Proposed compact presentation hybrid microgrid and equivalent solar panel.

Keywords: model, simulation of a variable speed wind turbine, induction generator, analytical model of wind turbine, power coefficient characteristics, hybrid energy, renewable energies.

INTRODUCTION

The stability of dc and ac bus voltage is of the most important issues in all microgrids including ac, dc or ac/dc hybrid microgrids. In this paper, a hybrid ac/

dc microgrid is proposed to reduce processes of multiple reverse conversions in an ac or dc microgrid and to facilitate the connection of various renewable ac and dc sources and loads to power system. Also, all control schemes used among all converters will be developed in order to improve the voltage stability of hybrid microgrid. To give robustness to improve the dynamic voltage stability of the microgrid, a voltage stabilizer is proposed and applied to the doubly fed induction generator (DFIG) installed in ac part.

MAIN PART

Results are achieved considering the uncertainty of the generators and loads existed in microgrid verifying the robustness of the controllers to restore and stabilize quickly the voltage of both ac and dc grids.

Nowadays, it is preferred to integrate renewable energies in the microgrid in order to reduce the CO₂ emission and the fossil fuel consumption. The benefits of distributed energy resources are seen to be higher reliability of service, better quality of power supply, and greater efficiency of energy use by utilizing the available waste heat from power generation systems. In addition, the ability to use renewable energy with little or no pollution is becoming increasingly attractive for environmental protection considerations and attracts increasingly important interests.

Furthermore, distributed generation can benefit the electric utility by reducing congestion on the grid, reducing the need for new generation and transmission capacity, and offering ancillary services. The ac microgrids have been proposed to facilitate such as photovoltaic (PV) panels or fuel cells, has to be the connection of renewable energy sources to conventional ac order to connect to an ac grid. In an ac grid, embedded ac/dc and dc/dc converters are required for various home and office systems. However, dc power from some distributed generators, converted into ac using dc/dc boosters and dc/ac inverters in facilities to supply different dc voltages.

Recently, dc microgrids are resurging due to the development and deployment of renewable dc power sources and their inherent advantage for dc loads in commercial, industrial and residential applications. However, ac sources have to be converted into dc before connected to a dc grid and dc/ac inverters are required for conventional ac loads. Multiple reverse conversions required in individual ac or dc grids may add additional loss to the system operation and will make the current home and office appliances more complicated.

The smart grid concept is currently prevailing in the electric power industry. The objective of constructing a smart grid is to provide reliable, high quality electric power to digital societies in an environmentally, friendly and sustainable way. One of most important futures of a smart grid is the advanced structure which

can facilitate the connections of various ac and dc generation systems, energy storage options, and various ac and dc loads with the optimal asset utilization and operation efficiency.

To achieve those goals, power electronics technology and control schemes play the most important roles to interface different sources and loads to a smart grid. In hybrid ac/dc microgrids are proposed to reduce processes of multiple reverse conversions in an individual ac or dc microgrid and to facilitate the connection of various renewable ac and dc sources and loads to power system. So in this paper, a hybrid ac/dc microgrid is proposed and studied.

In this study, the uncertainty effect of the generators and loads including the small and large deviations on voltage control of the microgrid is studied. The results verify the efficiency and robustness of the controllers to restore and stabilize quickly the voltage of both ac and dc grids. A hybrid microgrid as shown in Fig. 1 is proposed and modeled in MATLAB/Simulink [1, p.136–152, 2, p. 187–199.].

PV array is connected to dc bus through a dc/dc boost converter to simulate dc sources. A capacitor C_{pv} is used to suppress high frequency ripples of the PV output voltage.

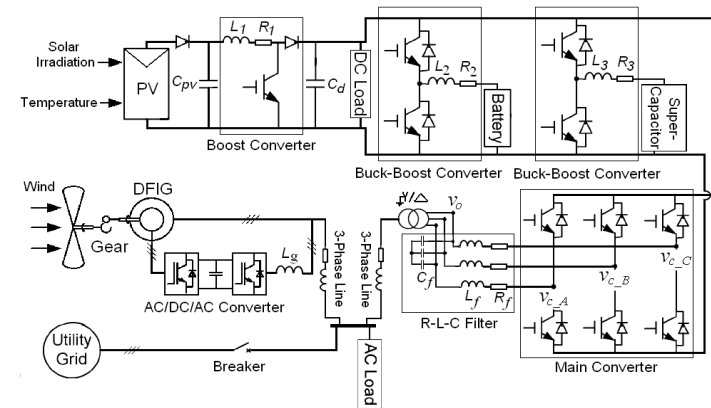


Figure 1 – A compact representation of the proposed hybrid microgrid

Also, a wind turbine (WT) with DFIG is connected to an ac bus to simulate ac sources. In addition, a battery and a super-capacitor as the energy storages are separately connected to dc bus through bidirectional (buck-boost) dc/dc converters. dc and ac loads are also connected to dc and ac buses, respectively. The dc load was considered as a pure resistive load, but the connected ac load was included constant-impedance (resistance-inductance), constant capacitance, and constant-power (induction motor) loads. The rated voltages for dc and ac

parts are 400 V and 400 V rms, respectively. A 3-phase bidirectional dc/ac main converter with R-L-C filter connects the dc part to the ac part through an isolation transformer. Furthermore, two similar ac lines are considered with impedance $0,0024+j0,000212 \Omega$.

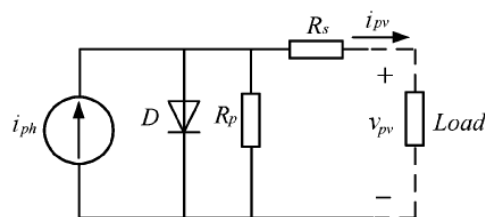


Figure 2 – Equivalent circuit of a solar panel

B. Modeling of Energy Resources

1) PV Array

Fig. 2 shows an equivalent circuit of a PV panel modeled by a controlled current source. At the same time, i_{pv} and v_{pv} are terminal current and voltage of the PV panel, respectively. The current output of the PV panel was modeled by formula shown in 2. Also, 40 kW PV panel parameters, used in study, were extracted from.

2) Battery and Super-Capacitor Storages

Although renewable resources are attractive, they are not always dependable in the absence of energy storage devices. The utilization of energy storage units in power systems can be classified into two categories. One is in response to fast transients and the other is related to steady-state energy exchanging. Super-capacitors are good candidates for the former application and batteries are suitable for the latter one. Currently, the mixed use of fast and slow energy storage units is gaining popularity for interconnection of renewable generation. In this study, a 65 Ah, 200 V nickel-metal-hydride (NiMH) battery was used together with a super-capacitor storage. The battery was modeled using a controlled nonlinear voltage source in series with a constant resistance as shown in. One of the important parameters to represent state of a battery is state-of-charge (SOC) defined as: where it is the extracted capacity and Q is the maximum capacity of battery storage. The battery SOC is between 0 %, for an empty battery, and 100 %, for a fully charged battery. Also, in modeling of the present 500 F super-capacitor storage, it was assumed that it is an ideal capacitance, i.e. its resistance was exactly considered to zero.

3) Wind Turbine Generator

In this study, DFIG was considered as a wound rotor induction machine, which needs to excite at both the stator and rotor terminals. Modeling of DFIG is well shown in SimPowerSystem Library of MatLab software [3, p. 308-313].

CONCLUSION

In summary, this paper presented the modeling and simulation of a variable speed wind turbine using DFIG under Matlab/SimPowerSystem. Firstly an analytical model of wind turbine was presented and power coefficient characteristics were investigated.

This model of wind turbine can later serve to build hybrid energy supply in combination with other renewable energies that could also be modeled using the same software.

REFERENCES

- 1 Kaidar, A. B., Kislov, A. P., Shapkenov, B. K., Markovsky, V. P., Antontsev, A. V. Analysis of multilevel inverters using variable carrier frequency based on PWM techniques. ПМУ хабаршысы. Энергетиялық серия. № 1, 2016, – p. 136–152.
- 2 Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кулумбенов, С. Ж., Файзулла, Д. Ф., Марковская, А. А. Эффективность комплексных энергосистем с применением возобновляемых источников// Научный журнал «Вестник ПГУ». – Павлодар. – 2018 – № 1, – С. 187–199.
- 3 Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П., Кайдар, А. Б. / Повышение эффективности инверторов с прямым цифровым управление// «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения»: IV Междунар. науч. – практ. конф., посвященная 20-летию Евразийского национального университета им Л.Н. Гумилева/ – Астана, 2016. – с. 308–313. ISBN 978-9965-31-745-3, Ч.1-571 с. , ISBN 978-9965-31-746-0.

Material received on 12.06.19.

В. П. Марковский¹, Б. К. Шапкенов², А. П. Кислов³, А. Б. Кайдар⁴, М. Б. Кайдар⁵, О. М. Талипов⁶

MATLAB / SimPowerSystem-дің DFIG-ді қолдану арқылы модель және модельдеу айнымалы жел турбинасы пайдалану

^{1,2,3,6}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

⁴«ХимПарк Тараз» еркін экономикалық аймағын басқару компаниясының» АҚ,

Шу қ., 081127, Қазақстан Республикасы;

⁵«ҚазТрансГаз» АҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

*В. П. Марковский¹, Б. К. Шапкенов², А. П. Кислов³, А. Б. Кайдар⁴,
М. Б. Кайдар⁵, О. М. Талипов⁶*

Модель и моделирование переменной ветровой турбины с использованием DFIG под MATLAB / SimPowerSystem

^{1,2,3,6}Павлодарский государственный университет

имени С. Торайгырова,

г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз»,

г. Шу, 081127, Республика Казахстан;

⁵АО «КазТрансГаз»,

г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Бұл мақалада Matlab / SimPowerSystem жүйесіндегі күшейтілген индукция генераторын (DFIG) пайдаланып айнымалы жылдамдықты жел турбинасын моделдеу қарастырылған.

Біріншіден, жел генераторының аналитикалық моделі ұсынылды және қуат факторының сипаттамалары зерттелді.

Бұл жел турбиналық үлгісі кейінірек сол бағдарламалық жасақтама арқылы модельдеуге болатын басқа жаңартылатын энергия көздерімен үйлесімде гибриді энергиямен жабдықтауды жасауға мүмкіндік береді.

Гибридік микрогидрдің және баламалы күн панелінің ықшам бейнесі ұсынылған.

В этой статье представлено моделирование ветродвигателя с регулируемой скоростью с использованием индукционного генератора с питанием (DFIG) в Matlab / SimPowerSystem.

Сначала была представлена аналитическая модель ветрогенератора и исследованы характеристики коэффициента мощности.

Эта модель ветряной турбины может позже служить для создания гибридного энергоснабжения в сочетании с другими возобновляемыми источниками энергии, которые также можно моделировать с использованием того же программного обеспечения.

Предлагается компактная презентация гибридной микросетки и эквивалентной солнечной панели.

ГРНТИ 44.09.03

**С. А. Мендыбаев¹, Н. Б. Байкенова²,
Г. М. Садвокасова³, Д. М. Рахимбердинова⁴**

¹к.т.н., доцент, Энергетический факультет, Казахский аграрный университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан;

²ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³магистр, ст.преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴магистрант, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: norbiba@mail.ru; abvgd888ef@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье рассматривается математическая модель системы автоматического регулирования металлургического предприятия по выплавке ферросплавов, разработанная на базе программного продукта Matlab; приведены структурные схемы САР и контуров регулирования системы; получены соответствующие математические выражения, описывающие передаточные функции объекта регулирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, объект регулирования, технологический процесс.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ и синтез системы автоматического регулирования(САР) технологического процесса металлургического производства, рассматриваемый в статье, предложен выполнить посредством физического моделирования(ФМ), хотя это является ответственной и сложной задачей. Решение этой задачи выполняется путем определения оптимальных условий протекания процесса, управления им на основе математической модели(ММ)

и переноса результатов на объект. Объектом автоматизации является печь по выплавке феррохрома.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ и синтез системы автоматического регулирования технологического процесса металлургического производства по выпуску ферросплавов с заданными характеристиками является ответственной и сложной задачей [1, 3]. на действующем промышленном предприятии крайне затруднительно, а порой не представляется возможным. В связи с этим большое внимание уделяется математическому моделированию (ММ). Анализ технологических процессов с помощью математических моделей позволяет существенно сократить объем, исследований, обеспечивает возможность просмотра большого количества вариантов, необходимых для анализа объекта регулирования [2].

Математическое моделирование системы автоматического регулирования (САР) позволяет изучить свойства объекта на математической модели. Одной из основных задач моделирования является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект. Объектом автоматизации является печь по выплавке феррохрома является руднотермическая печь (РТП) серии РКЗ-21 с заданными временными характеристиками.

Наиболее распространенные временные характеристики объектов системы регулирования классифицируются по двум видам:

- характеристики с самовыравниванием;
- характеристики без самовыравнивания.

Для обоих видов рассматриваются характеристики как для одноемкостных, так и многоемкостных объектов. Одноемкостные объекты представляют собой одно типовое звено. Одноемкостное звено с самовыравниванием представляет собой характеристику инерционного звена, поэтому основными параметрами характеристики являются коэффициент усиления объекта $k_{об}$ и постоянная времени объекта $T_{об}$. Многоемкостные объекты представляют собой несколько типовых звеньев, включенных по последовательной, параллельной или смешанной схеме.

Для определения оптимальных значений настройки регуляторов необходимо знать для объектов с самовыравниванием коэффициент усиления объекта $k_{об}$ и постоянную времени объекта $T_{об}$. Эти величины определяются из графика, изображенного на рисунке

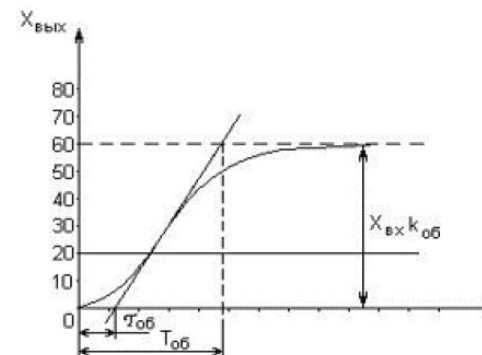


Рисунок 1 – Временная характеристика многоемкостного объекта с самовыравниванием

$$\tau_{об} = 1,2; T_{об} = 4,8; k_{об} = 60/20 = 3.$$

Тип регулятора и закон регулирования выбирают в зависимости от технологических показателей, свойств объекта управления, а также требований к качеству процесса регулирования.

Свойства объекта управления в первом приближении могут быть оценены по отношению времени запаздывания $\tau_{об}$ к постоянной времени объекта $T_{об}$: $\tau_{об}/T_{об}$. Чем это отношение больше, тем задача автоматизации сложнее, и потому рекомендуют:

- при $\tau_{об}/T_{об} < 0,2$ позиционный регулятор;
- при $0,2 \leq \tau_{об}/T_{об} \leq 1$ регулятор непрерывного действия;
- при $\tau_{об}/T_{об} > 1$ импульсный или цифровой регулятор.

$$\frac{\tau_{об}}{T_{об}} = \frac{1,2}{4,8} = 0,25 \tag{1}$$

Согласно формуле (1) $0,2 \leq 0,25 \leq 1$ в данной работе будет использован ПИ-регулятор непрерывного действия.

По величинам найденным по графику и сведений об объекте управления и регуляторе запишем их передаточные функции

$$W_{об} = \frac{k_{об}}{T_{об} \cdot p + 1} e^{-\tau_{об} p} = \frac{3}{4,8 p + 1} e^{-1,2 p} \tag{2}$$

$$k_{p,опт} = \frac{T_{об}}{\tau_{об} \cdot k_{об}} = \frac{4,8}{1,2 \cdot 3} = 1,333 \tag{3}$$

$$T_{из.онт} = 0,475 \cdot \frac{K_{об} \cdot K_{р.онт}}{(1 + K_{об} \cdot K_{р.онт})^2} T_{об} = 0,475 \cdot \frac{3 \cdot 1,333}{(1 + 3 \cdot 1,333)^2} 4,8 = 0,36 сч. \quad (4)$$

$$W_p = \frac{K_p}{T_u \cdot p + 1} = \frac{1,333}{0,36p + 1} \quad (5)$$

На основании расчетных данных структурная схема системы автоматического регулирования имеет вид(рисунок 2):

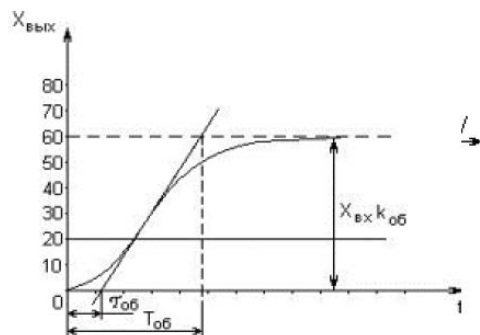


Рисунок 2 – Структурная схема САР

Имея передаточную характеристику объекта регулирования и регулятора построим контур регулирования в программе «Matlab»(рисунок 3).

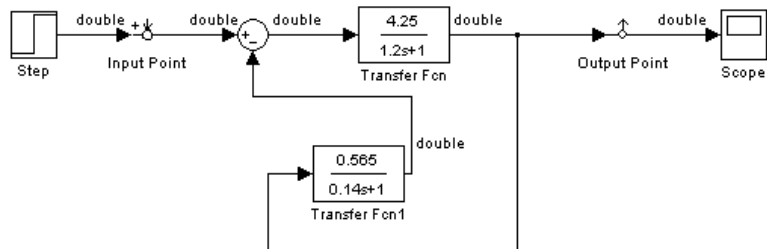


Рисунок 3 – Контур регулирования в программе «Matlab»

Изменяя $T_{из.онт}$ передаточной характеристики объекта регулирования на 30 %, исследуем переменчивость системы (рис.4).

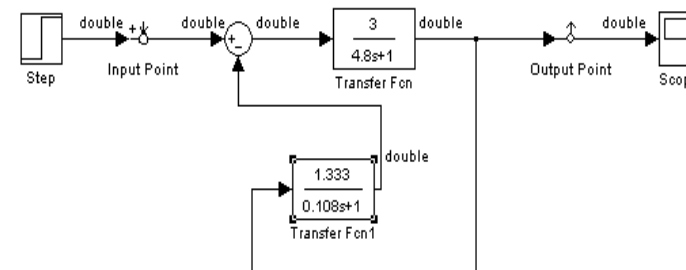


Рисунок 4 – Изменение контура регулирования системы на 30 %.

Разработанная математическая модель системы автоматического регулирования может быть использована при практическом проектировании АСУ ТП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М. : 2015 г.
- 2 **Гасик, М. И. и др.** Теория и технология производства ферросплавов. – М. : 2010 г.
- 3 **Васманов, В. В.** Автоматизированные системы оперативного управления. – М. : 2015.
- 4 **Михалев, С. Б.** АСУ на промышленном предприятии. – Минск : 2011 г.
- 5 **Модин, А. А.** Справочник разработчика АСУ. – М. : 2001 г.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

С. А. Мендыбаев¹, Н. Б. Байкенова², Г. М. Садвокасова³, Д. М. Рахимбердинова⁴

Металлургиялық өндірісінің технологиялық процесі үшін автоматтандырылған басқару жүйесінің математикалық моделін әзірлеу

¹Энергетикалық факультеті,

С. Сейфуллина атындағы Қазақ агротехникалық университетті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы;

^{2,3,4}Энергетикалық факультеті,

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

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

Development of a mathematical model of the automatic control system of the metallurgical production

¹Energy Faculty,
S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
Nur-Sultan, 0100011, Republic of Kazakhstan;

^{2,3,4}Faculty of Energy Engineering,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада «Matlab» бағдарламалық өнімі негізінде әзірленген ферроқорытпаларды балқытумен айналасатын металлургиялық кәсіпорынның автоматтандырылған басқару жүйесінің математикалық моделі талқыланды, АЖБ-нің құрылымдық кәсіпорынның сұлбалары мен жүйені басқаратын циклдар қарастырылған, басқару объектісінің трансфер функцияларын сипаттайтын арнайы математикалық өрнектер есептеп шығарылған.

The article discusses the mathematical model of the automatic control system of a metallurgical enterprise for the smelting of ferroalloys, developed on the basis of the Matlab software product; structural diagrams of ATS and system control loops are given; The corresponding mathematical expressions describing the transfer functions of the object of regulation are obtained.

A. B. Нефтисов¹, A. P. Солтанбекова², O. B. Говорун³

¹доктор PhD, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан;

³к.т.н., ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: aigerimochka_95@mai.ru; a.soltanbekova@pavlodarenergo.kz

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ГОДОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА

В настоящее время проблемам внедрения энергосберегающих мероприятий в разные сферы хозяйства посвящены многие научные работы и уделяется значительное внимание. Однако разработкам энергосберегающих мероприятий в бюджетных общественных организациях не уделяется должного значения. В работах многих специалистов акцент ставится на совершенствовании учета потребления энергоносителей, что, конечно, важно, но недостаточно. Для учета всех факторов, влияющих на энергоэффективность объекта, необходимо разработать комплексную программу энергосбережения. Высокая значимость для теории и практики указанных проблем обусловила выбор цели, задач, объекта и предмета данного диссертационного исследования.

Ключевые слова: теплоснабжение, энергосбережение, расчет тепловых нагрузок, отопление, горячее водоснабжение.

ВВЕДЕНИЕ

На начальном этапе обустройства системы теплоснабжения любого из объектов недвижимости выполняется проектирование отопительной конструкции и соответствующие вычисления. Обязательно следует произвести расчет тепловых нагрузок, чтобы узнать объемы потребления топлива и тепла, необходимые для обогрева здания. Эти данные требуются, чтобы определиться с подбором современного отопительного оборудования.

Понятие тепловая нагрузка определяет количество теплоты, которое отдают приборы обогрева, смонтированные в жилом доме или на объекте другого назначения. До того, как установить оборудование, данный расчет выполняют, чтобы избежать излишних финансовых расходов и других проблем, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации отопительной системы. Автоматизированная методика выполнения данного расчета позволит значительно облегчить не только сам процесс вычисления годовых тепловых нагрузок, но и процесс подбора оборудования, необходимого для стабильного функционирования системы отопления объекта любого назначения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В процессе вычисления тепловой нагрузки на отопление, даже малейшая ошибка может привести к большим проблемам, поскольку на основании полученных данных в местном отделении жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) утверждают лимиты и другие расходные параметры, которые станут основанием для определения стоимости услуг. Основные виды потерь указаны на рисунке 1.

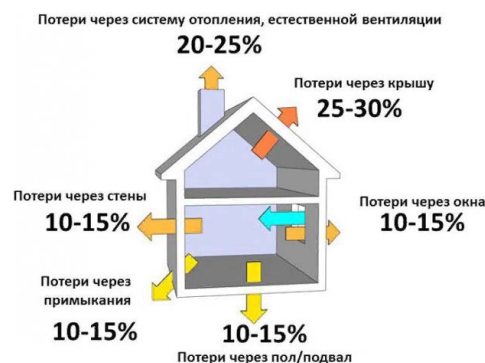


Рисунок 1 – Потери через систему отопления, естественной вентиляции

Правильно рассчитанная тепловая нагрузка на отопление может быть определена при условии, что в процессе вычислений будут учтены абсолютно все, даже малейшие нюансы.

Перечень деталей и параметров довольно обширен:

- назначение и тип объекта недвижимости. Для расчета важно знать, какое здание будет обогреваться – жилой или нежилой дом, квартира. От типа постройки зависит норма нагрузки, определяемая компаниями, поставляющими тепло, а, соответственно, расходы на теплоснабжение;

- архитектурные особенности. Во внимание принимаются габариты таких наружных ограждений, как стены, кровля, напольное покрытие и размеры оконных, дверных и балконных проемов. Немаловажными считаются этажность здания, а также наличие подвалов, чердаков и присущие им характеристики;

- норма температурного режима для каждого помещения в доме. Подразумевается температура для комфортного пребывания людей в жилой комнате или зоне административной постройки;

- особенности конструкции наружных ограждений, включая толщину и тип стройматериалов, наличие теплоизоляционного слоя и используемая для этого продукция;

- назначение помещений. Эта характеристика особо важна для производственных зданий, в которых для каждого цеха или участка необходимо создать определенные условия относительно обеспечения температурного режима;

- наличие специальных помещений и их особенности. Это касается, например, бассейнов, оранжерей, бань и т.д.;

- степень техобслуживания. Наличие/отсутствие горячего водоснабжения, централизованного отопления, системы кондиционирования и прочего;

- количество точек для забора подогретого теплоносителя. Чем их больше, тем значительнее тепловая нагрузка, оказываемая на всю отопительную конструкцию;

- количество людей, находящихся в здании или проживающих в доме. От данного значения напрямую зависят влажность и температура, которые учитываются в формуле вычисления тепловой нагрузки;

- прочие особенности объекта. Если это промышленное здание, то ими могут быть, количество рабочих дней на протяжении календарного года, число рабочих в смену. Для частного дома учитывают, сколько проживает в нем людей, какое количество комнат, санузлов и т.д.

Выполняется расчет тепловой нагрузки здания относительно отопления на этапе, когда проектируется объект недвижимости любого назначения. Это требуется для того, чтобы не допустить лишние денежные траты и правильно выбрать отопительное оборудование.

В ходе определения величины тепловой мощности во внимание принимают ряд факторов:

- степень теплопотерь наружных ограждений;
- мощность, необходимая для подогрева теплоносителя;
- количество тепловой энергии, требуемое для нагрева воздуха для принудительной приточной вентиляции;

– тепло, которое нужно для подогрева воды в бане или бассейне;
 – возможное дальнейшее расширение обогревательной системы. Это может быть создание отопления в мансарде, на чердаке, в подвале или в различных пристройках и строениях.

При выполнении расчетов тепловых нагрузок есть некоторые особенности:

Расчет тепловых нагрузок, в котором учитывается площадь поверхности приборов, участвующих в тепловом обмене, применяют для разных объектов недвижимости. Такой вариант вычислений позволяет максимально правильно рассчитать параметры системы, которая обеспечит эффективный обогрев, а также произвести энергетическое обследование домов и зданий. Это идеальный способ определить параметры дежурного теплоснабжения промышленного объекта, подразумевающего снижение температуры в нерабочие часы.

Методы вычисления тепловых нагрузок:

– вычисление теплопотерь с использованием укрупненных показателей;
 – определение теплоотдачи установленного в здании отопительно-вентиляционного оборудования;
 – вычисление значений с учетом различных элементов ограждающих конструкций, а также добавочных потерь, связанных с нагревом воздуха.

Метод расчета тепловых нагрузок каждого объекта подбирается индивидуально, учитывая конструктивные особенности конкретного строения.

ВЫВОДЫ

Расчетная тепловая нагрузка – очень важный показатель, получаемый в процессе проектирования системы отопления дома. Если подойти к делу с умом и провести все необходимые расчеты грамотно, то можно гарантировать, что отопительная система будет работать стабильно. И при этом можно будет сэкономить на перегревах и прочих затратах, которых можно просто избежать.

Благодаря теплотехническим обследованиям получают самые достоверные данные, касающиеся тепловых нагрузок и потерь тепла для конкретного здания в течение определенного временного периода. Практические мероприятия позволяют наглядно продемонстрировать то, что теоретические расчеты не могут показать – проблемные места будущего сооружения.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что расчеты тепловых нагрузок на ГВС, отопление и вентиляцию, аналогично гидравлическому расчету системы отопления, выполняемые автоматизированной методикой,

дают более точный результат, исключая допускаемые ошибки, совершаемые в связи с человеческим фактором. Значимость корректного выполнения расчетов годовых тепловых нагрузок очень велика и их непременно следует выполнить до начала обустройства системы теплоснабжения на объектах любого назначения. Когда подход к работе выполнен точно, грамотно, современно, безотказное функционирование отопительной конструкции будет обеспечено, причем без лишних затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ибрагимов, М. Х.** Тепловое оборудование и тепловые сети [Текст]: учебник для вузов / М. Х. Ибрагимов. – М. : Энергоатомиздат, 2010 – 302 с.

2 **Ионин, А. А.** Надежность систем тепловых сетей [Текст]: учеб пособие для вузов / А. А. Ионин – М. : Стройиздат, 2013 – 256 с.

3 **Каменев, П. Н.** Отопление и вентиляция [Текст]: Учебник для вузов в 2-х частях. Ч. 1. Отопление. -3-е изд. / П.Н.Каменев, А. Н. Сканави, В. Н. Богословский и др. – М. : Стройиздат, 2015 – 236 с.

4 **Минин, В. Е.** Эффективные системы отопления зданий [Текст]: учеб.пособие для вузов / В. Е. Минин, В. К. Аверьянов – Л. : Стройиздат, 2010 – 236 с.

5 **Сканави, А. Н.** Отопление [Текст]: Учебник для техникумов / А. Н. Сканави. – 2-е изд. – М. : Стройиздат, 2011 – 289 с.

6 <http://msklimat.ru/raschet-kolichestva-tepla-na-otoplenie-zdaniya.html>

7 <https://heatylab.com/>

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

А. В. Нефтисов¹, А. Р. Солтанбекова², О. В. Говорун³

Жылдық жүйелерді автоматты түрде аспектілердің есептемелерін жүзеге асыру процесі

^{1,2,3}Энергетикалық факультеті,

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

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. V. Neftissov¹, A. R. Soltanbekova², O. V. Govorun³**Perfection of the process of performing calculations of annual thermal loads by means of automating the process**

^{1,2,3}Faculty of Energy Engineering,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Қазіргі уақытта шаруашылықтың түрлі салаларына энергия үнемдейтін іс-шараларды енгізу мәселелеріне көптеген ғылыми жұмыстар арналған және елеулі көңіл бөлінеді. Алайда, қоғамдық ұйымдарда энергия үнемдеу іс-шараларын әзірлеуге тиісті мән берілмеген. Көптеген мамандардың жұмыстарында энергия тасымалдаушыларды тұтынуды есепке алуды жетілдіруге баса назар аударылады, бұл, әрине, маңызды, бірақ жеткіліксіз. Объектінің энерготімділігіне әсер ететін барлық факторларды есепке алу үшін энергия үнемдеудің кешенді бағдарламасын әзірлеу қажет. Аталған мәселелердің теориясы мен практикасы үшін жоғары маңыздылығы осы диссертациялық зерттеудің мақсатын, міндеттерін, нысанын және мәнін таңдауға негіз болды.

Currently, many scientific works are devoted to the problems of implementation of energy-saving measures in different areas of the economy and considerable attention is paid. However, the development of energy-saving budget measures in public organizations is not given due importance. In the works of many specialists, the emphasis is on improving the accounting of energy consumption, which, of course, is important, but not enough. To take into account all factors affecting the energy efficiency of the facility, it is necessary to develop a comprehensive energy saving program. The high importance for the theory and practice of these problems led to the choice of the purpose, objectives, object and subject of this dissertation research.

ГРНТИ 621.313.3

**A. N. Новожилов¹, Д. М. Рахимбердинова²,
Т. А. Новожилов³**

¹д.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²докторант PhD, кафедра «Электроэнергетика», С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³к.т.н., доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Омский государственный технический университет, г. Омск, 644010, Российская Федерация

e-mail: ¹novozhilova_on@mail.ru; ²Di_lara83@mail.ru; ³timokvey@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОФАЗНОГО ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОДИНАКОВЫМИ ВТОРИЧНЫМИ ОБМОТКАМИ

Особое место среди силовых трансформаторов занимают однофазные трансформаторы с k одинаковыми вторичными обмотками. Такие трансформаторы широко используются в качестве печных на ферросплавном производстве и в металлургии. Для защиты таких трансформаторов от коротких замыканий используют токовые защиты, отстройка которых должна осуществляться с учетом их эксплуатационных режимов работы в стационарных и переходных режимах работы. Наиболее полно описать процесс преобразования энергии в этих режимах позволяет математическая модель, дифференциальные уравнения которой составлены для напряжений каждой обмотки отдельно. Однако решение системы дифференциальных уравнений для многообмоточного трансформатора является достаточно сложной задачей. В связи с этим предложен метод замены всех одинаковых вторичных обмоток одной эквивалентной. С учетом этого сформированы дифференциальные уравнения новой математической модели, а также системы уравнений для моделирования установившихся и переходных режимов работы. Осуществлена проверка адекватности этой модели в стационарном режиме работы путем сопоставления результатов моделирования и эксперимента.

Ключевые слова: однофазный печной трансформатор, математическая модель, моделирование стационарного режима работы, эксперимент.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно для защиты силовых трансформаторов от коротких замыканий используют токовые защиты [1–4], отстройка которых невозможна без учета эксплуатационных режимов работы этих трансформаторов. В соответствии с [1–4] к эксплуатационным режимам работы относят режим нагрузки и включения трансформатора в сеть. При этом практически все время трансформатор работает в установившемся режиме. Переход из одного установившегося режима работы в другой сопровождается переходным процессом.

Наиболее полно в этих режимах работы процесс преобразования энергии в силовых трансформаторах описывает математическая модель, дифференциальные уравнения которой составляются для фазных напряжений [5–8]. Однако такая математическая модель не позволяет моделировать эти процессы в однофазном печном трансформаторе с k одинаковыми вторичными обмотками.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Как известно силовые трансформаторы являются статическим электромагнитным устройством, с помощью которых осуществляется преобразование одной системы переменного тока в другую [8–10]. Особое место среди них занимают однофазные трансформаторы с k одинаковыми вторичными обмотками. Как правило, такие трансформаторы используются в качестве печных трансформаторов на ферросплавном и металлургическом производстве. Использование $k=2-8$ одинаковых изолированных друг от друга вторичных обмоток вызвано целым рядом причин. Основной из них является сложность изготовления одной вторичной обмотки, способной обеспечить передачу электрической энергии напряжением $U_2 = 120-250$ В при токе $I_2=30000-250000$ А.

Схема печного трансформатора приведена на рисунке 1, где u_1 – мгновенное значение напряжения на первичной обмотки; i_i – мгновенные значения токов в обмотках; $R_i (L_i)$ – активные сопротивления (индуктивности) обмоток; $Z_{ni} = R_{ni} + jL_{ni}$ и $Z_{Hi} = R_{Hi} + jL_{Hi}$ – полное сопротивление короткой сети и нагрузки в виде дуги; $R_{ni} (L_{ni})$ и $R_{Hi} (L_{Hi})$ – активные сопротивления (индуктивности) короткой сети и нагрузки. При этом для первичной обмотки $i=1$, а для второй вторичных обмоток $i=2-5$.

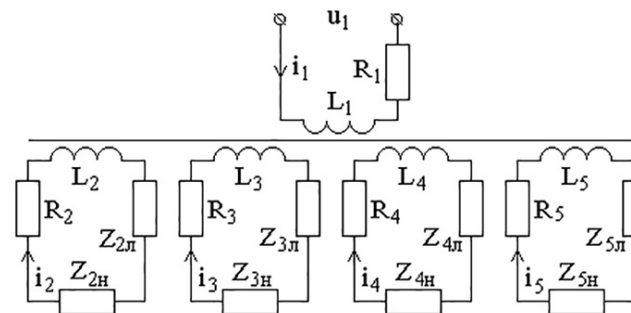


Рисунок 1 – Схема однофазного трансформатора с расщепленной вторичной обмоткой

В произвольном режиме работы процесс преобразования энергии в однофазных трансформаторах с k вторичными обмотками можно описать с помощью математической модели, дифференциальные уравнения которой составляются с учетом схемы на рисунке 1 и [5, 6]. Если принять у такого трансформатора $k=4$, то дифференциальные уравнения этой модели будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= R_1 i_1 + d\psi_1/dt; \\ 0 &= (R_2 + R_{2л} + R_{2н} + L_{2л} + L_{2н}) i_2 + d\psi_2/dt; \\ 0 &= (R_3 + R_{3л} + R_{3н} + L_{3л} + L_{3н}) i_3 + d\psi_3/dt; \\ 0 &= (R_4 + R_{4л} + R_{4н} + L_{4л} + L_{4н}) i_4 + d\psi_4/dt; \\ 0 &= (R_5 + R_{5л} + R_{5н} + L_{4л} + L_{4н}) i_4 + d\psi_5/dt. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В соответствии с [5] в этой системе уравнений потокоцепления обмоток определяются как

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= L_{11} i_1 + L_{12} i_2 + L_{13} i_3 + L_{14} i_4 + L_{15} i_5; \\ \psi_2 &= L_{21} i_1 + L_{22} i_2 + L_{23} i_3 + L_{24} i_4 + L_{25} i_5; \\ \psi_3 &= L_{31} i_1 + L_{32} i_2 + L_{33} i_3 + L_{34} i_4 + L_{35} i_5; \\ \psi_4 &= L_{41} i_1 + L_{42} i_2 + L_{43} i_3 + L_{44} i_4 + L_{45} i_5; \\ \psi_5 &= L_{51} i_1 + L_{52} i_2 + L_{53} i_3 + L_{54} i_4 + L_{55} i_5. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Согласно [5, 6, 9] расчет индуктивных сопротивлений обмоток трансформатора сложен. Но его можно упростить, если считать, что сердечник трансформатора ненасыщен, а собственное индуктивное сопротивление X_1 первичной обмотки значительно превышает ее активное

сопротивление R_1 . В этом случае [6] при известном напряжении U_1 приложенном к первичной обмотке трансформатора и токе холостого хода I_{xx} индуктивное сопротивление первичной обмотки и ее индуктивность L_1 можно достаточно точно определить по математическим выражениям

$$Z_1 = \dot{U}_1 / \dot{I}_{xx}, \quad X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2}, \quad L_1 = X_1 / \omega, \quad \omega = 2\pi f, \quad (3)$$

где Z_1 – полное сопротивление первичной обмотки трансформатора; ω и f – угловая частота и частота тока в сети.

Известно [5-9], что собственные индуктивности и взаимные индуктивности обмоток трансформатора пропорциональны квадрату их витков. Так как числа витков у вторичных обмоток одинаковы, то их собственные индуктивности

$$L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = L_1 (w_2 / w_1)^2, \quad (4)$$

где w_1 и w_2 – число витков в первичной и вторичных обмотках.

Взаимная индуктивность между первичной обмоткой и каждой из вторичных обмоток

$$L_{12} = L_{13} = L_{14} = L_{15} = L_{21} = L_{31} = L_{41} = L_{51} = L_1 (w_2 / w_1). \quad (5)$$

Взаимная индуктивность между вторичными обмотками

$$\begin{aligned} L_{23} = L_{24} = L_{25} = L_{32} = L_{34} = L_{35} = L_{42} = \\ = L_{43} = L_{45} = L_{52} = L_{53} = L_{54} = L_1 (w_2 / w)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Активные сопротивления этих обмоток

$$R_2 = R_3 = R_4 = R_5 \quad (7)$$

Активные сопротивления первичной и вторичной обмоток проще всего получить путем их замера с помощью моста постоянного тока.

Параметры вторичных обмоток, их линий и нагрузки, а также токи одинаковы. Если принять, что в системе уравнений (1) и потокосцеплениях (2) все собственные индуктивности вторичных обмоток равны L_2 , взаимные индуктивности между первичной обмоткой и каждой из вторичных обмоток

равны L_{12} , взаимные индуктивности между вторичными обмотками равны L_{23} , а активные сопротивления этих обмоток равны R_2 , то математическое выражение (1) легко преобразуется в систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= R_1 i_1 + d\psi_1 / dt; \\ 0 &= (R_2 + R_{2л} + R_{2н}) i_2 + (L_{2л} + L_{2н}) \dot{i}_2 + d\psi_2 / dt. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

в которой потокосцепления

$$\begin{aligned} \psi_1 &= L_1 i_1 + k L_{12} i_2; \\ \psi_2 &= L_{12} i_1 + L_2 i_2 + L_{23} i_2 (k - 1). \end{aligned} \quad (9)$$

Такая математическая модель проста и позволяет моделировать процессы в однофазном трансформаторе как в стационарных, так и в переходных режимах работы. При этом токи во всех обмотках трансформатора получаются в естественном виде. Что, в свою очередь, значительно облегчает анализ процессов в любых переходных процессах.

Процессы в трансформаторе в стационарном режиме моделируются с помощью системы неоднородных уравнений [11], получаемой из (8). В этой системе напряжения считаются синусоидальными, а оператор дифференцирования d/dt заменяется на выражение $j\omega$. В результате система (8) преобразуется в

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= (R_1 + X_1) i_{1н} + k X_{12} i_{2н}; \\ 0 &= X_{21} i_{1н} + (R_{\Sigma 2} + j X_{\Sigma 2}) i_{2н} + (X_2 + (k - 1) X_{23}) i_{2н}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $i_{1н}$ и $i_{2н}$ – периодическая составляющая тока в обмотках трансформатора; $R_{\Sigma 2} = R_2 + R_{2л} + R_{2н}$ и $X_{\Sigma 2} = X_2 + X_{2л} + X_{2н}$; X_{vw} – индуктивные сопротивления индуктивностей L_{vw} в системе уравнений (8).

В переходном режиме ток в i -ой обмотке трансформатора [5,6] определяется как сумма тока $i_{1н}$ периодической и $i_{1а}$ аperiodической составляющих. Периодическая составляющая токов в обмотках трансформатора рассчитывается по (10). Аperiodическую составляющую тока $i_{1а}$ получают путем полного решения системы однородных дифференциальных уравнений [8]. Эту систему также получают из (8), приняв в ней $u_i = 0$. При численном решении этой системы в ней dt и di заменяются на Δt и Δi . Затем в левую часть уравнений переносятся составляющие падений напряжений на активных и индуктивных сопротивлениях линии и нагрузки. В результате изменение токов Δi в элементах схемы за интервал времени Δt определяется путем решения системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} -R_{11a} \Delta t = L_1 \Delta i_{1a} + kL_{12} \Delta i_{2a}; \\ -(R_{\Sigma 2} + L_{\Sigma 2}) \dot{i}_{2a} \Delta t = L_{12} \Delta i_{1a} + (L_2 + (k-1)L_{23}) \Delta i_{2a}; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Так как при моделировании переходного процесса считается, что внутри каждого временного интервала токи i_{1-2} не меняются [5, 6], то составляющая $L_{\Sigma 2} \dot{i}_{2a}$ системы (11) будет равна нулю. С учетом этого система уравнений (11) преобразуется в

$$\left. \begin{aligned} -R_{11a} \Delta t = L_1 \Delta i_{1a} + kL_{12} \Delta i_{2a}; \\ -R_{\Sigma 2} i_{2a} \Delta t = L_{12} \Delta i_{1a} + (L_2 + (k-1)L_{23}) \Delta i_{2a}; \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В соответствии с [10-12] величины токов i_{1a} и i_{2a} на момент начала переходного процесса определяется типом моделируемого режима работы трансформатора, то есть начальными условиями. Например, при моделировании режима изменения нагрузки трансформатора установившиеся значения токов до начала и по завершению переходного процесса известны. Исходя из этого начальное значение тока апериодической составляющей в обмотках трансформатора принимается равным их разнице. При этом величина токов в i -ой обмотке трансформатора интервале $q+1$ будет определяться как

$$i_{ia,q+1} = i_{ia,q} + \Delta i_{ia,q} \quad (13)$$

Таким образом, полученная математическая модель позволяют моделировать практически все стационарные и переходные процессы в неповрежденном трехфазном трансформаторе.

Проверка адекватности этой математической модели осуществлялась в режиме нагрузки трансформатора типа ТТ-6, параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры экспериментального трансформатора ТТ-6

Параметры трансформатора ТТ-6	Обозначение	Величина
Напряжение питания, В	U_1	394
Ток холостого хода трансформатора, А	I_{xx}	0,075
Число витков в первичной обмотке	w_1	504
Число витков во вторичных обмотках	w_2	5
Число вторичных обмоток	k	4

Активное сопротивление первичной обмотки, Ом	R_1	2
Активное сопротивление вторичной обмотки, Ом	R_2	0,046
Активное короткой сети, Ом	R_{2n}	0,047
Активные сопротивления нагрузки, Ом	$R_{2н}$	0,047

Результаты моделирования и эксперимента процессов при изменяемой нагрузке приведены на рисунке 2.

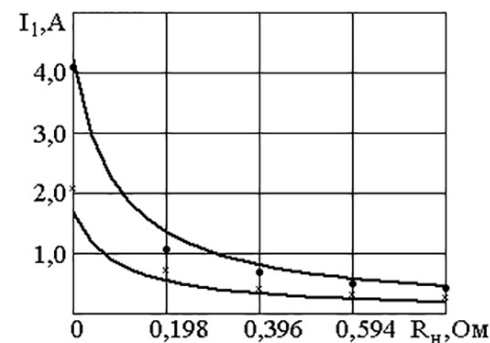


Рисунок 2 – Результаты моделирования и эксперимента токов в обмотках трансформатора ТТ-6 под нагрузкой

Анализ результатов расчета и эксперимента показывает, что погрешность моделирования нагрузочного режима не превышает 10–20 %, что вполне удовлетворяет требования релейной защиты.

ВЫВОДЫ

1 Разработанная математическая модель однофазного трансформатора с k вторичными обмотками позволяет моделировать токи в его обмотках в стационарных и переходных режимах работы.

2 Погрешность моделирования токов в обмотках однофазного трансформатора с k вторичными обмотками в эксплуатационном режиме работы с использованием этой математической модели не превышает 10–20 %, что вполне удовлетворяет требования релейной защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Засыпкин, А. С. Релейная защита трансформаторов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. 240 с.

2 **Федосеев, А. М., Федосеев, М. А.** Релейная защита электрических систем. – М. : Энергоатомиздат, 1992. 528 с.

3 **Чернобровов, Н. В.** Релейная защита. – 4-е издание. – М. : Энергия, 1974. – 680 с.

4 **Бульчев, А. В.** Релейная защита в распределительных электрических сетях: пособие для практических расчетов / А. В. Бульчев, А. А. Наволочный. – М. : ЭНАС, 2011. – 207 с.

5 **Новожилов, А. Н., Андреева, О. А., Воликова, М. П., Гаспарян, А. Г., Новожилов, Т. А.** Метод формирования системы уравнений математической модели электрических машин и трансформаторов в эксплуатационных режимах // Омский научный вестник. 2006. № 9 (46). – С. 108–112.

6 **Новожилов, А. Н., Горюнов, В. Н., Новожилов, Т. А., Крылов, И. Ю., Никитин, К. И.** Моделирование токов при витковом замыкании в трансформаторах руднотермических печей // Электротехника. 2013. № 4. – С. 27–32.

7 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины. – М. : Энергия, 1980. 909 с.

8 **Вольдек, А. И.** Электрические машины. Машины переменного тока : [учебник для вузов по направлению «Электроэнергетика»] / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб. : Питер, 2010. – 348 с.

9 **Тихомиров, П. М.** Расчет трансформаторов. 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. 528 с.

10 **Каракулин, М. Л.** Электромеханические системы (трансформаторы) : учебное пособие / М. Л. Каракулин, Л. М. Лапина. – Алматы : ССК, 2018. – 154 с.

11 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. – М. : Высшая школа, 1967. 775 с.

12 **Новожилов, Т. А., Новожилов, А. Н., Волгина, Е. М.** Область использования магнитных трансформаторов тока в электроэнергетике // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). – С. 67–71.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

А. Н. Новожилов¹, Д. М. Рахимбердинова², Т. А. Новожилов³

Бекітілген ылғалдылық трансфератының бірінші органдардың моделдігі

^{1,2}энергетика факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

³Омбы мемлекеттік университеті,
Омбы қ., 644010, Ресей Федерациясы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. N. Novozhilov¹, D. M. Rakhimberdinova², T. A. Novozhilov³

Simulation of single-phase furnace transformer with the same secondary windings

^{1,2}Faculty of Energy Engineering,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

³Omsk State University,
Omsk, 644010, Russian Federation.

Material received on 12.06.19.

Қуатты трансформаторлар арасында ерекше орынды бірдей фазалы трансформаторлар алады, оларда бірдей қайталама орамалар бар. Мұндай трансформаторлар ферроқорытпа өндірісінде және металлургияда пештер ретінде кеңінен қолданылады. Осындай трансформаторларды қысқа тұйықталудан қорғау үшін қолданыстағы стационарлық және өтпелі режимдердегі жұмыс режимдерін ескере отырып, оларды қорғауды жүзеге асыру қажет. Бұл режимдерде энергияны түрлендіру үдерісін толығымен сипаттау математикалық модельді береді, дифференциалдық теңдеулер әр орамның кернеулері үшін бөлек тұрады. Алайда көп қабатты трансформатор үшін дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу өте қиын. Осыған байланысты бір эквиваленттің қайталама орамаларын ауыстырудың ұсынылған әдісі. Осыны ескере отырып, жаңа математикалық модельдің дифференциалдық теңдеулері, сондай-ақ тұрақты-күй және өтпелі жұмыс режимдерін моделдеу үшін теңдеулер жүйесі құрылады. Бұл модельдің стационарлы жұмыс режимінде сәйкестігі сынағы имитациялық және эксперимент нәтижелерін салыстыру арқылы жүргізілді.

A special place among power transformers is occupied by single-phase transformers with k identical secondary windings. Such transformers are widely used as furnaces in the ferroalloy industry and in metallurgy. To protect such transformers from short circuits, current protection is used, the detuning of which should be carried out taking into account their operating modes in stationary and transient modes of operation. Most fully describe the process of energy conversion in these modes allows a mathematical model, the differential equations of which are made up for the voltages of each winding separately. However, solving a system of differential equations for a multi-winding transformer is quite a challenge. In this regard, the proposed method of replacing all the same secondary windings of one equivalent. Taking this into account, differential equations of a new mathematical model, as well as a system of equations for modeling steady-state and transient modes of operation, are formed. A check was carried out on the adequacy of this model in the stationary mode of operation by comparing the results of simulation and experiment.

ГРНТИ 621.313.3

А. Н. Новожилов¹, А. О. Юсупова², Т. А. Новожилов³

¹д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²докторант PhD, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³к.т.н., доцент, Омский государственный университет, г. Омск, 644010, Российская Федерация

e-mail: ¹novozhilova_on@mail.ru; ²aselasp@mai.ru; ³timokvey@mail.ru

ВЫБОР ИНФОРМАЦИОННОГО ПРИЗНАКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЕМКОСТНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Современные системы диагностики асинхронных двигателей широко используются в электроэнергетике. Наиболее перспективными системами диагностики эксцентриситета ротора асинхронных двигателей являются системы с емкостными измерительными преобразователями в виду их простоты, надежности и достаточной чувствительности. В предлагаемой работе произведен выбор информационного признака повреждения для системы диагностики эксцентриситета ротора с открытыми и закрытыми пазами асинхронного двигателя с емкостным измерительным преобразователем.

Ключевые слова: Система диагностики, зубчатость ротора, воздушный зазор, эксцентриситет ротора, емкостные измерительные преобразователи, переменная составляющая емкости.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в области диагностирования эксцентриситета ротора асинхронного двигателя (АД) считается то, в котором для измерения смещения ротора используют емкостные измерительные преобразователи (ИП) [1]. В тоже время анализ конструктивных возможностей емкостных ИП [2] показывает, что наиболее простым в изготовлении и установке является емкостной ИП в виде пазового клина с электродом из металлической фольги [2,3].

Однако, емкость такого ИП при роторе с открытыми пазами АД не постоянна и зависит не только от смещения ротора, но и от его вращения. Поэтому при реализации системы диагностики эксцентриситета ротора непонятно, что использовать в качестве информационного признака повреждения. В данной работе данную проблему предлагается решать следующим образом.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Конструкция емкостного ИП с электродом на пазовом клине статора АМ [2,3] приведена на рисунке 1, где 1 и 2 сердечники статора и ротора, 3 – пазовый клин из текстолита с наклеенной на него металлической фольгой 4.

При установке в АД такой ИП просто забиваются в головку пазов статора с торца сердечника, а смещение ротора определяется по величине емкости между поверхностью ферромагнитного сердечника ротора 2 и металлической фольгой 4 [12].

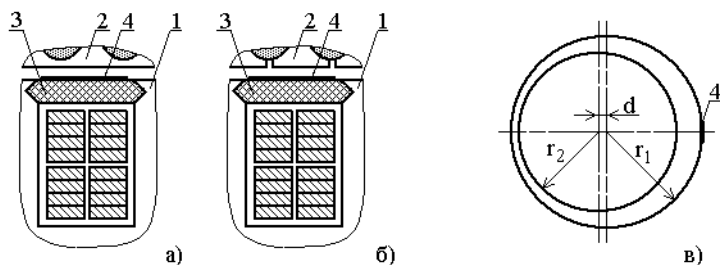


Рисунок 1 – Емкостной ИП на пазовом клине и расположение ротора

Как известно [3,4], ротор АД может выполняться с открытыми и закрытыми пазами. Если ротор имеет закрытые пазы, то с учетом рисунка 1,а емкость такого ИП при вращении ротора относительно его поверхности не меняется и зависит только от смещения d ротора. Ее величину можно определить как

$$C_{ип} = \epsilon \epsilon_0 h_{ип} l_{ип} / (\delta_n - d), \tag{1}$$

где ϵ и ϵ_0 – диэлектрическая постоянная диэлектрика и вакуума; $l_{ип}$ и $h_{ип}$ – длина и ширина электрода; $\delta = (r_1 - r_2)$ – номинальная величина воздушного зазора; r_1 и r_2 – радиусы расточек статора и ротора.

Если у ротора пазы открытые [4,5], то с учетом рисунка 1,б емкость такого ИП при вращении ротора зависит не только от величины эксцентриситета ротора, но и от расположения раскрытий паза ротора относительно

плоскости ИП. Это вызвано увеличением расстояния между электродом ИП и поверхностью сердечника ротора при прохождении открытия паза вдоль этого электрода. При этом частота изменения емкости ИП

$$f_2 = n_2 z_2 = \frac{z_2 f_c}{p} (1 - s_2), \tag{2}$$

где n_2 – число оборотов ротора в секунду; z_2 – число зубцов на роторе; f_c – частота тока в сети; s_2 – скольжение ротора; p – число пар полюсов АД.

Определение зависимости $C_{ип}$ от положения раскрытий пазов ротора показанного на рисунках 2,а и 2,б по методике изложенной в [6,7] достаточно сложно. Его можно упростить, если допустить, что силовые линии электростатического поля от электрода ИП перпендикулярны поверхности ротора, а глубина раскрытий паза равна их ширине. Это допущение не приводит к существенным погрешностям при моделировании $C_{ип}$, так как в соответствии с таблицей 1 воздушный зазор δ_n значительно меньше раскрытия паза ротора b_{z2} . В этом случае при расположении раскрытия паза ротора относительно электрода емкостного ИП в соответствии с рисунком 2,а емкость ИП определяется по математическому выражению (1).

Таблица 1 – Размеры элементов зубцовой зоны АД и электрода ИП

Наименование параметра	Размеры в мм	
	АО-31-4	АО-114-6
Номинальный воздушный зазор δ_n , мм	0,3	1,3
Число пазов статора z_1	36	72
Число пазов ротора z_2	26	84
Зубцовое деление статора t_{z1} , мм	9,78	21,7
Зубцовое деление ротора t_{z2} , мм	13,5	18,62
Открытие паза ротора b_{z2} , мм	2	3

В тоже время при расположении раскрытия паза ротора относительно электрода ИП в соответствии с рисунком 2,б емкость ИП определяется как

$$C_{ип} = C_1 + C_2 + C_3, \tag{3}$$

где C_1 , C_2 и C_3 – емкости зон электрода ИП.

Емкость первой и третьей зоны электрода ИП в этом случае определяются как

$$C_1 = \epsilon\epsilon_0 h_1 / (\delta_n - d) \text{ и } C_3 = \epsilon\epsilon_0 h_3 / (\delta_n - d), \quad (4)$$

где h_1 и h_3 – ширина первой и третьей зон электрода ИП.
Емкость второй зоны электрода ИП определяется как

$$C_2 = \epsilon\epsilon_0 h_2 / (\delta_n - d + b_{z2}). \quad (5)$$

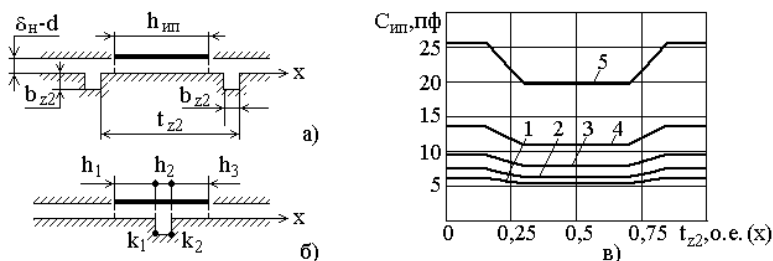


Рисунок 2 – Расчетные схемы и результат зависимости $C_{ИП} = f(x)$

Результаты моделирования зависимости величины емкости ИП определяемой по приведенным математическим выражениям при повороте вала ротора АД АО-114-6 на одно зубцовое деление ротора t_{z2} и при смещении его на 0; 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 от номинальной величины воздушного зазора δ_n в виде линий 1-4 приведены рисунке 2,в. Из этого рисунка видно, что увеличение эксцентриситета ротора сопровождается ростом как постоянной, так переменной составляющей емкости $C_{ИП}$ ИП. Однако характер их изменения в зависимости от смещения ротора неясен. Выяснить это, а, следовательно, осуществить выбор информационного признака повреждения, можно с помощью спектрального анализ зависимостей $C_{ИП} = f(x)$. Для этого используется метод разложения в ряд Фурье [8], а емкость ИП представляют в виде

$$C_{ИП}(x) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(kf_2 + \psi_k), \quad (6)$$

где C_0 – постоянная составляющая емкости ИП; C_k – емкость k – го члена ряда; ψ_k – угол сдвига по фазе k – го члена ряда.

Анализ математических выражений (1), (4) и (5) показывает, что величина членов ряда емкости ИП зависят от отношения ширины ИП к раскрытию паза статора и ширины раскрытия паза ротора к величине воздушного зазора. Далее эти отношения будут представляться коэффициентами k_z и k_h . На рисунке 3,а приведены зависимости величин членов ряда емкости ИП от

величины смещения ротора в относительных единицах. Они получены для АД АО-114-6, у которого k_z и k_h приняты равными 1,875 и 0,8. Анализ этих зависимостей показывает, что нулевой член ряда значительно превосходит остальные члены ряда, В связи с этим качестве информационного признака повреждения имеет смысл использовать только C_0 , C_1 и C_2 . При этом C_1 и C_2 значительно большей степени зависят от смещения ротора. Именно их анализ осуществляется в дальнейшем.

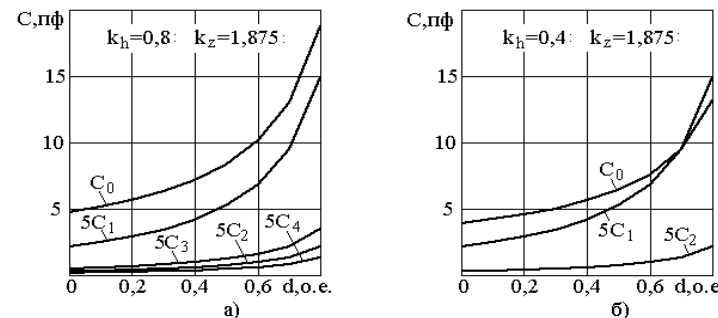


Рисунок 3 – Зависимости величин членов ряда емкости ИП от величины смещения ротора

Очевидно, величина емкости ИП зависит от ширины электрода. На рисунке 3,б приведены зависимости величин C_0 , C_1 и C_2 в зависимости от смещения ротора при k_z и k_h равных 1,875 и 0,4. Анализ этих кривых показывает, что уменьшение ширины электрода ИП в два раза сопровождается снижением емкости C_0 примерно 1,5 раза. При этом величины C_1 и C_2 изменяются незначительно.

Сокращение раскрытия паза ротора в свою очередь должно привести к уменьшению переменной составляющей емкости ИП. На рисунке 4 приведены зависимости величин C_0 , C_1 и C_2 в зависимости от смещения ротора при k_z и k_h равных 1,0 и 0,4. Анализ этих кривых показывает, что увеличение воздушного зазора до величины $\delta_n = 0,003$ сопровождается снижением емкости C_0 примерно 1,6 раза. При этом величины C_1 и C_2 уменьшаются в два раза.

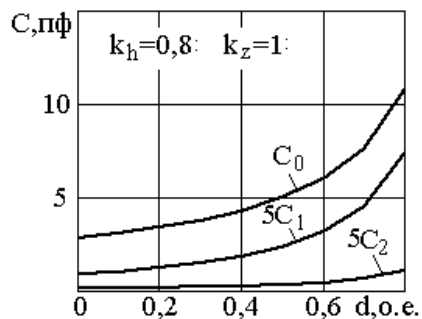


Рисунок 4 – Зависимости величин членов ряда емкости ИП от величины смещения ротора

Емкостной ИП в виде пазового клина с электродом из металлической фольги [9,10] при реализации системы диагностики смещения ротора обычно подключается в одно из плеч измерительного моста. В связи с этим погрешности измерения такого ИП будут определены емкостью соединительных проводов и ЭДС индуцируемой в них. От этой ЭДС в значительной мере можно избавиться путем использования экранированного или скрученного провода. А так как у такого провода емкость постоянная, то в результате изменяется только величина C_0 . В связи с этим предпочтительным является использование для диагностирования переменной составляющей емкости ИП, на которые емкость соединительных проводов влияния не оказывает.

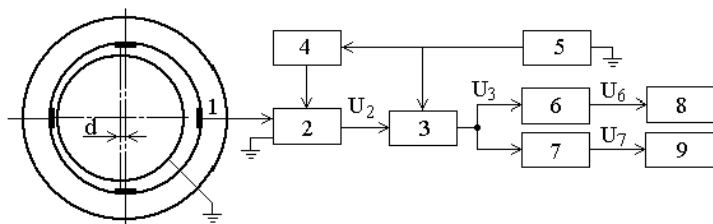


Рисунок 5 – Блок схема устройства диагностики эксцентриситета ротора АД

В связи с этим для реализации системы диагностики эксцентриситета ротора АД с открытыми пазами можно воспользоваться блок – схемой на рисунке 5, где 1 – ИП; 2 – измерительный мост; 3 – полосовой заграждающий фильтр с частотой f_0 , которая в зависимости от размера открытия паза статора

может колебаться в пределах 500-2000Гц АД; 4 – источник переменного тока с частотой f_0 ; 5 – источник постоянного тока; 6 и 7 – пороговые элементы с порогами срабатывания U_{cp1} и U_{cp2} , при $U_{cp1} < U_{cp2}$; 8 и 9 – блоки индикации и формирования отключающего сигнала. В такой блок – схеме в качестве информационного признака повреждения используется переменная составляющая емкости ИП.

Если считать, что при отсутствии эксцентриситета ротора мост 2 был сбалансирован, то смещение вала ротора по горизонтали, например влево или вправо на величину d , приводит к увеличению или уменьшению расстояния между электродом 2 ИП и поверхностью вала и к разбалансировке моста. В результате на его выходе появится напряжение U_2 , а на выходе полосовой фильтр U_3 . И если напряжение U_3 превысит порог срабатывания порогового элемента U_{cp1} , то на его выходе появится напряжение U_6 , а блок 6 отразит информацию «СМЕЩЕНИЕ РОТОРА». Если при дальнейшем смещении ротора напряжение U_3 на выходе фильтра 6 превысит порог срабатывания U_{cp2} порогового элемента 7, то этот пороговый элемент дополнительно сформирует сигнал на отключение АД.

ВЫВОДЫ

1 В АД с ротором, который имеет закрытые пазы, емкость ИП имеет только постоянную составляющую, которая изменяется только при смещении ротора и для системы диагностики этого типа АД является информационным признаком повреждения.

2 В АД с ротором, который имеет открытые пазы, емкость ИП имеет как постоянную, так и переменную составляющие, при этом величина переменной составляющей в основном определена коэффициентом k_z , который является ширины раскрытия паза ротора к величине воздушного зазора.

3 В АД, который имеет ротор с открытыми пазами, в качестве информационного признака смещения ротора следует использовать переменную составляющую емкости ИП, так как это позволяет отстроиться от погрешностей диагностики, вызванной влиянием соединительных проводников ИП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины. – М. : Энергия, 1980. – 909 с.

2 **Новожилов, А. Н., Крюкова, Е. В., Исупова, Н. А.** Диагностирование эксцентриситета ротора асинхронного двигателя по среднеквадратичной величине дополнительных гармонических токов статора / Технические

науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXVII междунар. науч.-практ. конф. № 10(23). Часть I. – Новосибирск : СибАК, 2013.

3 **Исмагилов, Ф. Р., Хайруллин, И. Х., Пашали, Д. Ю., Бойкова, О. А.** Обзор современных методов и средств оперативной диагностики электромеханических преобразователей энергии. / Вестник УГАТУ, Т. 14, № 4 (39). – С. 73–79/2010.

4 **Новожилов, А. Н., Юсупова, А. О., Новожилов, Т. А.** Выбор метода выявления эксцентриситета ротора электрической машины / Вестник ПГУ. № 4. Серия Энергетическая – Павлодар, 2016, – с. 117–126.

5 **Новожилов, А. Н., Юсупова, А. О., Новожилов, Т. А.** Выбор типа емкостного измерительного преобразователя для диагностики эксцентриситета ротора электрической машины / Материалы международной конференции «17 Саптаевские чтения», том 19, – с. 133–138.

6 Инновационный патент РК. №25896, МПК H02N 7/06, H02N 7/08, H02K 11/00 Способ диагностики эксцентриситета ротора электрической машины/Новожилов А. Н., Исупова Н. А. Заявитель и патентообладатель Павлодарский государственный университет им. С. Торагырова (KZ). – № 2011/0753.1

7 **Новожилов, А. Н., Полищук, В. И., Исупова, Н. А.** Обзор способов диагностики эксцентриситета ротора машин переменного тока / Изв. вузов. Электромеханика. – 2011. № 6. – С. 26–29.

8 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. – Москва, Высшая школа, 1973, 750 с.

9 А.С. СССР №1332466 Способ измерения динамического эксцентриситета электрической машины / Бакшеев Н. В., Грюнер А. И. и др., Официальный бюллетень №31, Оpubл. 23.08.1987.

10 Инновационный патент РК. №32999, МПК H02N 7/06, H02N 7/08, H02K 11/00 Способ определения эксцентриситета ротора в электрической машине /Новожилов А. Н., Юсупова А. О., Новожилов Т. А. Заявитель и патентообладатель Павлодарский государственный университет им. С. Торагырова (KZ). – № 2017/0299.1

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

А. Н. Новожилов¹, А. О. Юсупова², Т. А. Новожилов³

Атталық өлшеу түрлендіргіші бар индукциялық қозғалтқыштың роторының эксцентрисетком диагностикалық жүйесіне зиян келтіретін ақпараттық белгісін таңдау

^{1,2}Энергетика Факультеті,

Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

³Омбы мемлекеттік университеті,

Омбы қ., 644010, Ресей Федерациясы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. N. Novozhilov¹, A. O. Yussupova², T. A. Novozhilov³

Selection of an informational sign of damage for the diagnostic system of the eccentricity of the rotor of an induction motor with a capacitive measuring transducer

^{1,2}Faculty of Energy Engineering,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

³Omsk State University,

Omsk, 644010, Russian Federation.

Material received on 12.06.19.

Асинхронды қозғалтқыштарға арналған заманауи диагностикалық жүйелер электр энергетикасында кеңінен қолданылады. Индукциялық қозғалтқыштардың ротордың эксцентрисеті үшін ең перспективалы диагностикалық жүйелер олардың қарапайымдылығы, сенімділігі мен жеткілікті сезімталдықты ескере отырып, сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштері бар жүйелер болып табылады. Ұсынылған жұмыста қуаттылық өлшеу түрлендіргіші бар индукциялық қозғалтқыштың ашық және жабық слоттары бар ротордың эксцентрисетком диагностикалық жүйесінде зақымданудың ақпараттық белгісін таңдау жүргізілді.

Modern diagnostic systems for asynchronous motors are widely used in the power industry. The most promising diagnostic systems for rotor eccentricity of induction motors are systems with capacitive measuring transducers in view of their simplicity, reliability and sufficient sensitivity. In the proposed work, there is given the selection of the information sign of damage for the diagnosis system of rotor eccentricity with open and closed slots of an induction motor with a capacitive measuring transducer.

Е. В. Приходько¹, Е. В. Оришевская², С. С. Беркетов³

¹к.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистр, ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: john1380@mail.ru; eva_pgu@mail.ru

**АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ
ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ
АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

В статье рассматриваются мероприятия по снижению инфильтрационных потерь административных зданий на основе предварительного анализа их причин. Инфильтрационные потери по типам были разделены по основным группам: окна, двери и стены. Предложены следующие мероприятия по снижению инфильтрационных потерь: монтаж энергосберегающих пленок на окна, установка дверных доводчиков, замена деревянных окон на современные пластиковые окна, ремонт пластиковых окон и утепление оконных проемов. По применению каждого мероприятия произведен расчет экономического эффекта.

Ключевые слова: инфильтрация, тепловые потери, экономический эффект

ВВЕДЕНИЕ

При проведении анализа инфильтрационных потерь административных зданий с помощью тепловизионного обследования ряда промышленных зданий административного назначения северной пром.зоны г. Павлодар были выявлены типы инфильтрационных потерь [1]. Для анализа термограмм использовалось программное обеспечение IRSOFT, которое предназначено для анализа, обработки и архивирования изображений, записанных с использованием тепловизора testo. Проведенный анализ инфильтрационных

потерь по каждой группе позволил выделить проблемы инфильтрации, выявить причины и методы их устранения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью повышения эффективности использования тепловой энергии в здании и уменьшения тепловых потерь через оконные блоки, рекомендуется применение низкоэмиссионных энергосберегающих оконных пленок.

Монтаж низкоэмиссионных пленок на окна приводит к повышению уровня теплозащиты окон и экономии тепловой энергии на подогрев инфильтрующегося через окна холодного воздуха, ввиду снижения воздухопроницаемости. За счёт проведения монтажа низкоэмиссионных пленок значительно снижаются тепловые потери за счёт нагрева инфильтрационного воздуха, которые являются следствием неплотностей. Эти потери зачастую составляют более 60 % от общих тепловых потерь помещения.

Пленка является солнцезащитной пленкой селективного типа, т.е. пропускает видимый свет и отражает инфракрасное излучение, в том числе и тепловое.

Предлагаемое техническое решение. Предлагается наклеить на окна специальную энергосберегающую теплоотражающую оконную пленку SaveEnergy 30, производства UltraSolarBlock, Корея.

Производство энергосберегающих керамических пленок является высокотехнологичным и трудоемким процессом. В производстве керамической пленки используется натуральная керамика. Срок службы данных пленок неограничен, а минимальная заводская гарантия 10 лет. Уникальность свойств таких пленок достигается за счет ультратонкого керамического слоя представляющего собой наноструктуры состоящие из титана, азота и керамики.

Эти особые ковалентные соединения, в форме решетки, делают материал устойчивым к температурным, механическим и химическим повреждениям, обеспечивая его долговечность. Титан и азот придают керамическому слою особые диэлектрические свойства с высокой степенью отражения инфракрасных лучей. Тонкий слой керамики наносится на полиэстер путем технологии спаттеринга.

Прозрачные слои диэлектрика обеспечивают защиту металлического слоя от окисления, а также выполняют просветляющие функции.

В результате установки лишь одной пленки в межстекольном пространстве не просто отсекаются очень большие (70 %) потери тепла из-за излучения, но также уменьшается конвекция.

Это в совокупности позволяет увеличить сопротивление оконной конструкции теплопередачи на 50 %. Незначительный вес и нормативная

светопрозрачность в целом дополняют технические характеристики этой технологии.

Селективное качество приобретено благодаря низкоэмиссионному покрытию пленки, отражающему тепловые лучи в сторону их излучателя (зимой – в сторону помещений, летом – в сторону улицы), что значительно снижает расходы на отопление зимой и на кондиционирование летом. Другими словами, покрытие оставляет тепло там, где его больше. Чем ниже эмиссионная способность стекла, тем выше его энергосберегающие свойства.

Пленки можно устанавливать без ограничения на существующее остекление без демонтажа стекол из рам, а также на стекла – заготовки стеклопакетов. Технические характеристики пленки представлены ниже (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики энергосберегающей пленки Ultra Solar Block Save Energy 30

Наименование показателя	Значения
Пропускание солнечной энергии, %	57
Отражение солнечной энергии, %	8
Поглощение солнечной энергии, %	41
Пропускание видимого света, %	30
Отражение видимого света, %	7
Отражение УФ-излучения, %	98
Доля общего сокращения солнечной энергии, %	38
Коэффициент эмиссии	0,33

Результаты расчета [1] экономического эффекта от внедрения энергосберегающего мероприятия по монтажу низкоэмиссионной пленки приведены в таблице 2. Экономический эффект применения низкоэмиссионной пленки основан на снижении потерь тепла излучением. При расчетах принимались цены рыночные по состоянию на 21.12.2018 г.

Таблица 2 – Эффект от внедрения мероприятия «Монтаж энергосберегающих пленок на окна»

Расчетная площадь остекления F, м ²	Экономический эффект, Гкал	Годовая экономия в денежном выражении, тг	Срок окупаемости энергосберегающего мероприятия
52,4	7,81	34309,1	6,59 лет

Срок окупаемости мероприятия может изменяться в зависимости от стоимости материала и работ, тарифа на тепловую энергию и колебания температуры наружного воздуха в течение отопительного периода.

Приведенные в статье расчеты являются оценочными. Более точные результаты можно получить только на стадии ТЭО (технико-экономического обоснования) или на стадии разработки рабочего проекта и сметы.

Установка дверных доводчиков. Согласно Постановлению Правительства Республики, Казахстан от 11 сентября 2012 года № 1181 «Об установлении требований по энергоэффективности зданий, строений, сооружений и их элементов, являющихся частью ограждающих конструкций», здания и сооружения должны быть оборудованы дверными доводчиками.

В ходе осмотра и тепловизионного контроля зданий было выявлено, что часть входных дверей не оборудованы доводчиками, в результате чего имеют место теплопотери через незакрытые двери.

В качестве энергосберегающего мероприятия предлагается установка дверных доводчиков, обеспечивающих автоматическое закрытие входных дверей.

Для установки рекомендуется дверной доводчик НОРА-М серии S, производства Россия. Серия S универсальных морозостойких доводчиков предназначена для дверей с весом от 25 до 160 кг.

В основу работы универсальных морозостойких доводчиков НОРА-М положен принцип механического сжатия пружины внутри корпуса доводчика за счет усилия, производимого человеком при открывании двери, и масляного сдерживания обратного хода пружины при закрытии двери. Доводчики НОРА-М сконструированы по принципу максимальной безопасности и работоспособности, и изготовлены с учетом особенности эксплуатации в казахстанских условиях.

Наработка – не менее 500000 циклов. По показателям наработки доводчики соответствуют российским и европейским стандартам качества ГОСТ 5091-78, ГОСТ 56177-2014, EN1154.

Гарантия от производителя – 5 лет на все модели дверных доводчиков НОРА-М. Длительный срок гарантии обуславливается высоким качеством доводчиков и надежностью работы их механизма.

Данный доводчик предназначен для работы при температуре до минус 40 °С, что ниже температуры воздуха наиболее холодной пятидневки для г.Павлодар.

Результаты расчета энергосберегающего мероприятия [1] приведены в таблице 3. Затраты на реализацию мероприятия оценивались по рыночным ценам по состоянию на 23.11.2018 г.

Таблица 3 – Расчет экономического эффекта от установки дверного доводчика

Годовая экономия тепловой энергии, Гкал/год/ кВт	Экономический эффект, тг/год	Срок окупаемости энергосберегающего мероприятия
1,06/1232,78	4656,5482	5,26 лет

Экономический эффект рассчитан при стоимости производства тепловой энергии 4392,97 тг./Гкал. Срок окупаемости мероприятия может изменяться в зависимости от стоимости оборудования и колебания температуры наружного воздуха в течение отопительного периода.

Приведенные расчеты являются оценочными. Более точные результаты можно получить только на стадии ТЭО (технико-экономического обоснования) или на стадии разработки рабочего проекта и сметы.

Следующим мероприятием является замена деревянных окон на современные пластиковые окна. Как было показано, окна в зданиях находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют замены. Предлагается заменить старые деревянные блоки на современные пластиковые окна с двойным стеклопакетом и вентилируемыми профилями.

Потери тепла с инфильтрацией в зданиях с окнами неудовлетворительного состояния достигают 20 % затрат тепла на отопление. По данным теплотребления здания за отопительный сезон в среднем потребляется 105,8045 Гкал тепла [2]. Таким образом потери тепла с инфильтрацией, составляют порядка 21,16 Гкал/год. При замене окон можно довести эти потери до нормативных 3 %, то есть до 3,17 Гкал/год. Результаты расчета [1] приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет экономического эффекта от замены окон на пластиковые

Экономия тепла от замены окон, Гкал/год	Годовая экономия в денежном выражении, тг	Срок окупаемости энергосберегающего мероприятия
31,59	138773,9	5,7 лет

Столь большой срок окупаемости обусловлен низким тарифом на тепло для данной группы потребителей. Для этого мероприятия главной целью должно являться обеспечение комфортной температуры в жилых помещениях с одновременной экономией тепла. Приведенные в статье расчеты являются оценочными. Более точные результаты можно получить только на стадии ТЭО (технико-экономического обоснования) или на стадии разработки рабочего проекта и сметы.

Важным мероприятием является ремонт пластиковых окон, утепление оконных проемов. Пластиковые окна являются прочной конструкцией. Но в ходе длительного использования возможны повреждения. Причин неисправностей много, окна могут: плохо закрываться, скрипеть, сквозить, или повреждено стекло, замена которого непростая задача. Вернуть изделия в исходное полностью рабочее состояние можно при помощи профессионального ремонта, выполненного исключительно специалистами, имеющими достаточно опыта и знаний, всех тонкостей подобных работ.

Основными видами ремонта пластиковых окон (рисунок 1), при условии целостности стеклопакета и работоспособности фурнитуры, являются регулировка фурнитуры окон (плотность закрывания створок), смазка фурнитуры, замена уплотняющих резинок, утепление зазоров между рамой и оконным откосом монтажной (полиуретановой) пеной и герметизация, гидроизоляция окон (наружных примыканий) с применением жидкого герметика «стиз».

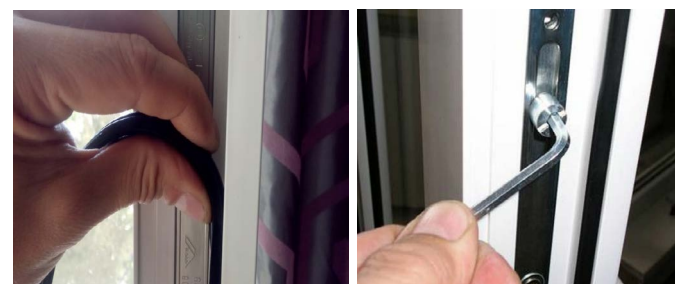


Рисунок 1 – Виды ремонта пластиковых окон

Часто регулировка фурнитуры пластиковых окон бывает необходимой при низком качестве установочных работ, когда конструкция оказалась невыровненной по вертикали и горизонтали. Регулировка требуется и в случае естественного износа, поскольку со временем окна задевают фурнитурные элементы. В случае слабо закрытых створок окна пропускают холодный воздух, из окна начинает дуть.

Очень часто по истечении нескольких лет эксплуатации пластиковых окон возникает сквозняк из-под створки, который не получается ликвидировать обычной регулировкой системы. Причин может быть износ уплотняющих резинок. Для обеспечения герметичности, тепло- и шумоизоляции в системах современных окон применяется специальный уплотнитель. Этот материал представляет собой эластичную структуру сложной конфигурации, цвет уплотнителя чаще всего черный, реже белый.

Прокладывается материал по всему периметру окна, благодаря чему и обеспечивается плотное закрытие створок.

Герметизация окон – это общепринятая процедура. Без правильно выполненной герметизации наружных оконных швов даже самый дорогой стеклопакет не сможет защитить помещение от влаги и холода, проникающего в комнаты сквозь зазор между рамой и оконным откосом.

Необходимо проверить герметичность монтажного шва, откосов в ветреную и холодную погоду, приставив руку или поднеся свечу к окну, откосам. Если чувствуется холодный воздух, их придется демонтировать и посмотреть, нет ли зазоров и щелей. В том случае, если они есть, старую пену между окном и стеной лучше удалить. Освободившиеся от старой пены места следует запенить вновь. Откосы, особенно ту часть, которая примыкает к оконной раме, утеплите пенопластом в 2 см. Утеплите оконные проемы снаружи, насколько это возможно. Посмотрите, не поступает ли холод из-под подоконника. Его также нужно демонтировать, если обнаружатся холодные мостики с улицы, и утеплить.

Монтажная (полиуретановая) пена обладает несомненной теплостойкостью и хорошими звукоизоляционными качествами, однако монтажная пена не выносит ультрафиолета и выкрашивается из шва примыкания за пару-тройку лет. Но если поверх пены наложена качественная гидроизоляция, то потребитель может не беспокоиться о герметичности стыков и стабильности микроклимата в помещении.

Наружная герметизация окон ПВХ – обустройство вдоль контура примыкания надежного гидроизоляционного барьера, реализуемого с помощью современных герметиков – одно- или двухкомпонентных составов, наносимых на зону шва.

Жидкие герметики «стиз» удачно совмещают в себе устойчивость к ультрафиолету, атмосферным осадкам, тепловым деформациям, высокую адгезию к бетону, кирпичу и дереву (свойства, характерные для строительных герметиков, используемых при герметизации меж панельных стыков), высокую технологичность и простоту в нанесении.

Экономический эффект от внедрения мероприятия рассчитывался при цене тепловой энергии 4392,97 тг./Гкал.

Общая стоимость работ на проведение ремонта пластиковых окон, утепления оконных проемов составит 312196 тг. При этом цены на работы принимались рыночные, по состоянию на 23.11.2018г.

Таблица 5 – Расчет экономического эффекта от проведения ремонта пластиковых окон, утепления оконных проемов

Годовое сокращение потребления тепловой энергии, Гкал/год	Экономический эффект, тг/год	Срок окупаемости энергосберегающего мероприятия
5,3	23282,741	13,4 года

Срок окупаемости мероприятия может изменяться в зависимости от стоимости материала, дизельного топлива и колебания температуры наружного воздуха в течение отопительного периода.

Приведенные расчеты являются оценочными. Более точные результаты можно получить только на стадии ТЭО (технико-экономического обоснования) или на стадии разработки рабочего проекта и сметы.

ВЫВОДЫ

Согласно проведенному анализу инфильтрационных потерь административных зданий по предварительно выделенным группам (окна, двери и стены), предложены методы их устранения. Предварительно определены основные проблемы и причины возникновения инфильтрационных потерь по каждой группе.

Предложены следующие мероприятия по снижению инфильтрационных потерь: монтаж энергосберегающих пленок на окна, установка дверных доводчиков, замена деревянных окон на современные пластиковые окна, ремонт пластиковых окон и утепление оконных проемов. Приведены технические характеристики энергосберегающей пленки Ultra Solar Block Save Energy 30, рассмотрены основы работы универсальных морозостойких доводчиков НОРА-М, освещены основные виды ремонта пластиковых окон. По применению каждого мероприятия произведен расчет экономического эффекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Байжигитова, Р. Б.** Анализ инфильтрационных потерь промышленных зданий различного типа. Магистерский проект на соискание степени магистра техники и технологии по специальности 6М071700 «Теплоэнергетика». – ПГУ имени С. Торайгырова, Павлодар, 2019. – 63 с.

2 **Колесников, А. И.** Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях. – М. : ИНФА – М, 2008. – 122 с.

3 **Найчук, А.** Об энергоэффективности наружного стенового ограждения каркасных зданий // Архитектура и строительство [Эл.ресурс].

4 **Бондарев, В. А.** Оценка основных факторов энергосбережения // Современные наукоемкие технологии. – 2014. № 5 – с. 228–229.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Е. В. Приходько¹, Е. В. Оришевская², С. С. Беркетов³

Әкімшілік ғимараттардың инфильтрациялық шығындарын азайту жөніндегі іс-шараларды талдау

^{1,2,3}Энергетикалық факультеті

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

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

E. V. Prihod'ko¹, Y. V. Orishevskaya², S. S. Berketov³

Analysis of activities to reduce infiltration losses of administrative buildings

^{1,2,3}Faculty of Energy Engineering,
S.Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада әкімшілік ғимараттардың инфильтрациялық шығындарын олардың себептерін алдын ала талдау негізінде төмендету жөніндегі іс-шаралар қарастырылады. Инфильтрациялық шығындар түрлері бойынша негізгі топтарға бөлінді: терезелер, есіктер және қабырғалар. Инфильтрациялық шығындарды төмендету бойынша келесі іс-шаралар ұсынылды: терезелерге энергия үнемдейтін пленкаларды орнату, есік жетілдіргіштерін орнату, ағаш терезелерді заманауи пластикалық терезелерге ауыстыру, пластикалық терезелерді жөндеу және терезе ойықтарын жылыту. Әрбір іс-шараны қолдану бойынша экономикалық тиімділіктің есебі жүргізілді.

The article deals with measures to reduce infiltration losses of administrative buildings on the basis of a preliminary analysis of their causes. Infiltration losses by type were divided into the main groups: Windows, doors and walls. The following measures to reduce infiltration losses are proposed: installation of energy-saving films on Windows, installation of door closers, replacement of wooden Windows with modern plastic Windows, repair of plastic Windows and insulation of window openings. On application of each action calculation of economic effect is made.

ГРНТИ 20.23.25

Д. Е. Сағатбекова¹, Т. Т. Балғабаева², М. С. Рамазанова³

¹м.т.н., преподаватель, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан;

²студент, кафедра «информационные вычислительные системы», факультет инновационных технологий, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан;

³студент, кафедра «информационные вычислительные системы», факультет инновационных технологий, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, 100012, Республика Казахстан

БУДУЩЕЕ ЗА ИТ-ТЕХНОЛОГИЯМИ

В данной статье рассматриваются технологии будущего, также отрасли ИТ-сферы, возможности ИТ-технологий, использование ИТ-технологий в разных отраслях, таких как машиностроение и т.д. Приводятся примеры и факты, которые интересно будет узнать. Рассказываются две суперновые ИТ технологии – WebGL и WebRTC. Суть технологии WebRTC в том, что теперь пользователи могут звонить на любое устройство прямо из браузера без использования услуг провайдера телефонной линии АТС. Большинство звонков будут абсолютно бесплатными, и Вы будете использовать Ваш смартфон, по новому, всё время находясь в Сети. Разработчики активно внедряют айти технологии 3d визуализации объектов с помощью ИТ-технологии WebGL. Данная технология похожа на OpenGL, которая используется для создания сложнейших графических эффектов и, в частности, в компьютерных играх, но в отличие от OpenGL, она работает в Вашем браузере.

Ключевые слова: ИТ-технологии, ИТ-сфера, WEBGL, WebRTC, OpenGL.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отрасль ИТ-сферы переживает бурное развитие. Человечество стремительно приближается к очередной гряде революций в сфере технологии ИТ. Современное развитие отрасли ИТ направлено в сторону повышения качества человеко-машинных интерфейсов и анализа больших объемов данных. Из-за растущих запросов в этих областях особое внимание уделяют развитию систем искусственного интеллекта. Об этом говорят не только успехи ИТ в распознавании голоса, изображений, предсказательных задачах, но и появление все большего числа фреймворков

для работы с нейронными сетями для разных языков программирования и с разными порогами вхождения. В ближайшем будущем мы будем свидетелями повсеместного внедрения таких систем во все виды деятельности человека.

Все это становится возможным сейчас благодаря стремительному росту производительности, энергоэффективности микропроцессоров, исследованиям в области симуляции биологических систем, а также появлению специальных кристаллов, реализующих работу нейронных сетей на аппаратном уровне.

Однако в нашей стране основные возможности заработка сосредоточены в области веб-разработок и мобильных приложений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время IT-технологии оказывают всё большее влияние не только на все отрасли производства, но и на образование. Педагогические работники и приравненные к ним лица должны постоянно повышать свою квалификацию для того, чтобы «идти в ногу со временем» и помочь обучающемуся стать компетентной, деятельной, креативной личностью.

Внедрение IT-технологий в образовательный процесс организаций технического и профессионального образования диктует необходимость изменения самого учебного процесса: переход от традиционных к инновационным формам, методам и способам обучения.

IT-технологии активно применяются для обеспечения взаимодействия педагогического работника и обучающегося открытого и дистанционного образования. Современный педагогический работник должен не только владеть передовыми технологиями нашего времени, но и уметь применять их в своей педагогической практике.

Для педагогического работника IT-технологии дают наибольший эффект при их использовании:

- во время проведения лекционных и практических занятий;
- при разработке контрольно-оценочных материалов
- в проектной деятельности, при создании материалов к лекциям;
- при выступлении на совещаниях, заседаниях;
- в процессе научной деятельности.

Для студента IT-технологии дают наибольший эффект при использовании в следующих случаях:

- для более глубокого восприятия учебного материала;
- в проектной деятельности;
- при создании мультимедийных сочинений;
- в презентационной деятельности;
- в локальной и глобальной сети.

Технологии становятся неотъемлемой частью нашей жизни. Тот факт, что они нужны нам, не вызывает никаких сомнений. О пользе и вреде современных технологий можно говорить вечно, но задумайтесь, легко ли будет людям отречься от них? Думаю, нет. Технологии не только нам упростили жизнь, но и продолжают помогать во всех возможных нам сферах жизни.

IT-технологии начинают охватывать все области создания, передачи, хранения и восприятия информации, не ограничиваясь только компьютерными технологиями. Также, в понятия IT-технологий входят не только ПК и смартфоны, но и другие отрасли.

Поговорим о внедрениях IT-технологий в отрасли машиностроения. Goodyear воображает, что будущая шина может быть сферой, связанной с автомобилем магнитной левитацией. Его рисунок протектора будет застывать в сухую погоду. Автомобиль может ездить боком, чтобы сделать параллельную парковку оснасткой. Задние колеса будут рулить. Когда-нибудь, конечно.

That's Goodyear Eagle-360 concept tire, одна из двух, которые компания демонстрирует на Женевском Международном Автосалоне, концепция, которая может «буквально изменить будущее для автономных автомобилей», – говорит Goodyear.



Рисунок 1 – Концепция проектов машин компании Goodyear

Концепция IntelliGrip: ближе к реальности. Другая концепция шин, показанная компанией, была Goodyear IntelliGrip, усеянная датчиками в каждой шине, которая потенциально может быть изготовлена в ближайшем будущем. Интеллигенция сможет ощутить дорожные условия (предположительно выбоины, морозы и лишний гравий в углях, что будет проблемой для автомобилей и угрозой безопасности для мотоциклов) и погодные условия. Шина также будет постоянно контролироваться на предмет износа. Алгоритмы будут адаптировать шину для высоких рабочих температур и (вставьте Том Брэди шутка здесь) неправильной инфляции.

В сочетании с GPS и телематикой, такая шина может обеспечить карту дорог, остро нуждающихся в ремонте. Города и поселки будут ненавидеть это, так как это больше денег, чтобы потратить на ремонт дорог.

Автомобилистам это понравится, так как это меньше денег, потраченных на сломанные колеса и шины. Каждое исследование показывает, что плохая дорожная инфраструктура обходится водителям и компаниям больше, чем экономит правительство.

Теперь поговорим о двух суперновых IT технологиях – WebGL и WebRTC.

Сейчас всех продвинутых пользователей Сети волнуют новые и появляющиеся интернет-тренды. Например, последние пару лет получили колоссальное развитие и инвестиции технологии IT в сфере BigData, – т.е. сбор, обработка, анализ и использование больших объёмов пользовательских данных.

Так, в настоящее время, для сбора данных о покупателях, большое распространение получили CRM-системы, которые скоро будут интегрированы со всеми интернет-магазинами. CRM-система позволяет снизить и оптимизировать затраты на рекламу и привлечение покупателей, и повысить конверсию в несколько раз!

Но давайте рассмотрим фронтальные IT-технологии, которые совсем скоро обеспечат Вашему интернет-магазину стремительный рост продаж. Если Вы пропустите данные технологии будущего, то у Вас не останется шансов на большие прибыли по сравнению с Вашими конкурентами.



Рисунок 2 – фронтальные IT технологии

Итак, прямо сейчас разработчики активно внедряют айти технологии 3d визуализации объектов с помощью IT-технологии WebGL. Данная технология похожа на OpenGL, которая используется для создания сложнейших графических эффектов и, в частности, в компьютерных играх, но в отличие от OpenGL, она работает в Вашем браузере.

IT-технологии на основе WEBGL.

Теперь стало возможным создание интернет-сайтов, на которые можно помещать 3d объекты. То есть вы легко можете оцифровать с помощью

сканера или смоделировать в специальной программе любой продукт их представить его в Вашем интернет-магазине.

Трёхмерные товары можно рассматривать, крутить, приближать, изменять их цвет, форму, детали и сравнивать. Например, Вы можете сравнивать новый смартфон с Вашим старым устройством, просто загрузив его на сайт и рассматривая. Для этого может подойти обычная веб-камера или игровая приставка использующая продвинутые IT-технологии.

Также покупатели смогут «примерять товары» сканируя себя или иные объекты, например, чтобы выбрать обручальные кольца или обувь или другие вещи, например, автомобиль. Витрины самих интернет-магазинов станут также полностью трёхмерными и по настоящему интерактивными.

IT-технологии на основе WEBRTC.

Вторая технология под названием WebRTC несёт революцию в сфере сообщений, аудио и видео связи. Так благодаря данной революции может исчезнуть традиционная сотовая связь, скайп и даже привычная электронная почта!

Суть технологии WebRTC в том, что теперь пользователи могут звонить на любое устройство прямо из браузера без использования услуг провайдера телефонной линии АТС. Большинство звонков будут абсолютно бесплатными, и Вы будете использовать Ваш смартфон, по новому, всё время находясь в Сети.

Сейчас люди уже активно совершают покупки с помощью смартфонов. Но совсем скоро 90 % всех покупок люди будут делать в Интернете, и он будет иным. Общество всецело будет цифровым. Эти технологии будущего мы скоро увидим и их не обойти.

Уже более 5 лет мир активно захватывают облачные IT-технологии. Благодаря им, большинство устройств станут «лёгкими», то есть будут «брать и отдавать» всю информацию обратно в Сети. Т.е. практически не нужны будут жёсткие диски, флешки, которые устареют, как когда-то CD и DVD.

Таким образом, интернет-магазины, до недавнего времени были ещё только «детьми» по сравнению с реальными гипермаркетами, пока не появились новые технологии. Однако скоро большая часть товаров будет продаваться по Сети. Вы успеете захватить свою нишу, если откроете Ваш интернет-магазин в ближайшие дни.

ВЫВОДЫ

Время не останавливается, и, следовательно, модернизация, как и сама история, является непрерывным процессом.

Мир стремительно меняется, но всегда будут цениться люди, умеющие производить продукт. Будь то интеллектуальный продукт или физический.

Стабильный спрос всегда будет на хороших разработчиков, инженеров, руководителей проектов.

В плане передовых технологий: IT будет сверх-востребован, но в каком виде эта область окажется через 10 лет сложно сказать.

На новом переломе эпох у Казахстана есть уникальный исторический шанс построить собственное лучшее будущее через обновление и новые идеи.

Мы уверены, что казахстанцы, особенно подрастающее поколение, понимают важность нашей модернизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 <https://www.extremetech.com/extreme/224323-goodyears-future-tires-for-self-driving-cars-four-maglev-spheres>
- 2 https://storeengine.ru/blog/It-technology_Future_technologies.php
- 3 <https://tproger.ru/experts/29/>
- 4 http://www.akorda.kz/en/events/akorda_news/press_conferences/course-towards-the-future-modernization-of-kazakhstans-identity

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

D. E. Sagatbekova¹, T. T. Balgabaeva², M. S. Ramazanova³

IT-технологиялар—біздің болашағымыз

^{1,2,3}Инновациялық технологиялар факультеті,
Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті,
Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы.
Материал 12.06.19 баспаға түсті.

D. E. Sagatbekova¹, T. T. Balgabaeva², M. S. Ramazanova³

IT-technologies – our future

^{1,2,3}Innovation Technology Faculty,
Karaganda State Technical University,
Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

Бұл мақалада болашақ технологиялары, сондай-ақ IT-салалары, IT-технологиялардың мүмкіндіктері, машина жасау және т.б. сияқты әртүрлі салада IT-технологияларды пайдалану қарастырылады. Екі супер IT технологиясы – WebGL және WebRTC. WebRTC технологиясының мәні енді пайдаланушылар кез келген құрылғыға АТС телефон желісі провайдерінің қызметтерін пайдаланбай,

тікелей браузерден қоңырау шала алады. Көптеген қоңыраулар мүлдем тегін болады, және сіз смартфонды Жаңа түрде пайдалануға болады. Әзірлеушілер IT-технологиясы WebGL арқылы нысандарды 3D визуализациялау технологиясын белсенді енгізуде. Бұл технология күрделі графикалық әсерлерді жасау үшін пайдаланылатын OpenGL сияқты және компьютерлік ойындарда, бірақ OpenGL қарағанда, ол сіздің браузеріңізде жұмыс істейді.

This article discusses the technology of the future, as the industry of IT-sphere, the possibility of IT-technologies, the use of IT-technologies in different branches, such as engineering, etc. Examples and facts that will be interesting to learn. Told two supernovae IT technologies – WebGL and WebRTC. The essence of WebRTC technology is that users can now call to any device directly from the browser without using the services of the PBX telephone line provider. Most of the calls will be completely free and you will use your smartphone, in a new way, all the time being Online. Developers are actively implementing it technology 3d visualization of objects using it-technology WebGL. This technology is similar to OpenGL, which is used to create complex graphic effects and, in particular, in computer games, but unlike OpenGL, it works in Your browser.

Т. Ф. Серіков¹, А. М. Құдайберген²

¹аға оқытушы, PhD доктор, «Байланыс жүйелер технологиясы» кафедрасы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы;

²3 курс студенті, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы

e-mail: ¹tansaule_s@mail.ru; ²abzal.1999.k@bk.ru

ВИЖЕНЕР ЖӘНЕ ЦЕЗАРЬ КРИПТОГРАФИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КРИПТОГРАФИЯ ТҮРІ

Бұл жұмыста Вижинер және Цезарь әдісінің негізінде криптографияның жаңа моделі орындалады. Қазіргі уақытта техника даму үстінде. Яғни, біздің ұялы телефон сияқты жеке құрылғыларымыздың қауіпсіздігі өте маңызды. Бұл жұмыстың барысында симметриялы криптография негізінде криптографиялаудың жаңа үлгісін құрдық. Осы жұмыс арқылы шешілуі өте қиын симметриялы криптография үлгісі құрылды.

Кілтті сөздер: Вижинер және Цезарь әдісі, криптографияның жаңа үлгісі, техника даму үстінде, симметриялы криптография.

КІРІСПЕ

Ақпаратты қорғауға қазіргі заманда көп назар аударылады. Соңғы кездері телекоммуникациялық жүйелер қазіргі ғаламдық ақпараттық жүйелердің күретамырлары болып табылады. Осындай жүйелерде айналып жүретін ақпарат бағалы болу мүмкін, сондықтан оны қаскүнемдер ұрлауға, рұқсатсыз пайдалануға, өзгертуге тырысады. Сол себептен соңғы жылдары ақпаратты қорғау проблемасы өте маңызды болды.

Қазіргі уақытта бұл проблеманың шешуін ақпаратты қорғаудың мамандары іздейді. Ақпаратты қорғаудың түрлі тәсілдерінің арасында криптографиялық әдістер ерекше орын алады. Бір жағынан, ақпаратты қорғаудың криптографиялық тәсілдері адамдарға бұрыннан белгілі болып ойдағыдай қолданылады. Басқа жағынан, криптографияның жаңа жетістіктері рұқсатсыз қатынаудан деректерді қорғауды классикалық есебін ғана емес, басқа көп есептерді де шешуге мүмкіндік береді. Осының қатарында ақпараттық жүйелерде пайдаланушылардың аутентификациясы, электронды құжаттарға цифрлық қол қою проблемасы, және электронды ақшаны пайдалану мүмкіндіктері.

Көп уақыт криптографиялық теорияның дамуы аса қарқынды болмаған еді, бірақ ХХ ғасырда математиканың жетістіктеріне байланысты криптография саласында кенет өзгеру пайда болды. Соңғы жылдары түрлі алгоритмдар мен протоколдарды пайдалану тәжірибесінің жиналуы өте тез өтіп жатыр, сондықтан криптографиялық қорғау әдістеріне арналған әдебиеттер ұзақ уақыт толық болалмайды [1].

Жалпы криптология термині *cryptos* – құпия және *logos* – ғылым деген ұғымдарды білдіретін грек сөздерінен шыққан. Криптология екі бөлімге бөлінеді: криптография (шифрлау) және криптоанализ (криптоталдау). Криптография басқа бөгде адамдардың (қарсыластың) хабарламаны ұрлауынан, өшіруінен, көруінен және т.б. өзгертулерден қорғау үшін хабарламаның түрленуін қарастырады. Криптограф хабардың құпиялығын және нақтылығын сақтайтын әдістермен қамтамасыз етеді. Криптографиямен айналысатын адамды криптограф деп атайды. Криптоталдаушы шифрланған мәтінді құпиялы кілтсіз бұзып ашу әдістерін іздейді. Криптоталдаушы криптографқа шифрланған мәтінді құпиялы кілтсіз бұзып ашу әдістерін көрсетеді. Ашық мәтін деп бастапқы берілген хабарламаны айтады. Криптографтың ашық мәтінге қолданылған амалынан кейінгі нәтижені шифрланған мәтін немесе криптограмма деп атаймыз. Шифрлау деп шифр арқылы ашық мәтіннің шифрмәтінге айналу процесін айтады. Ашық мәтінді шифрлау үшін криптограф әрқашан құпия кілтін қолданады. Бұзып ашылуына қарсы тұра алатын шифрдың қабілетін шифрдың мықтылығы немесе беріктілігі дейміз [2].

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Ақпаратты басқа бөгде адам оқи алмайтындай етіп, өзгертіп қорғау мәселесі ерте заманнан адамзатты ойландырып келеді. Криптография тарихы адам тілі тарихымен қатарлас дамуда. Тіпті жазудың өзі бастапқыда криптографиялық жүйе болып табылатын, себебі ерте заманда жазуды тек таңдаулылар ғана білді. Ежелгі Египет, ежелгі Индияның қасиетті кітаптары оған мысал бола алады. Цезарь өз хаттарында біраз жүйеленген, өз атымен аталатын шифр пайдаланған.

Жазу кең таралған кезде криптография жеке ғылым ретінде дами бастады. Криптографиялық жүйелер бірінші және екінші дүниежүзілік соғыс жылдарында жақсы дамыды. Соғыстан кейінгі уақыттан бастап осы кезге дейінгі есептеу техникалардың пайда болуы криптографиялық әдістерді құру және жетілдіруді жеделдетті. Ақпаратты қорғау мәселерімен криптология (*cryptos* – құпия) айналысады.

Қазіргі криптография екі бағытта дамып келеді:

- 1 Симметриялық криптография.
- 2 Асимметриялық криптография.

Симметриялық криптожүйеде ақпаратты шифрлау және дешифрлау үшін бір кілт қолданылады. Ақпаратты жіберуші және қабылдаушы алдын ала белгілі бір жабық арналар арқылы өзара қолданылатын кілтті ауыстырулары қажет. Асимметриялық криптожүйеде ақпаратты шифрлау және дешифрлау үшін екі кілт қолданылады. Әрбір қолданушының өзінің ашық және құпия (жабық) кілті болады. Хабарды жіберуші хабарды ашық кілтпен шифрлайды. Қабылдаушы хабарды дешифрлау үшін өзіне ғана белгілі құпия кілтін қолданады.

Жалпы криптология термині *cryptos* – құпия және *logos* – ғылым деген ұғымдарды білдіретін грек сөздерінен шыққан. Криптология екі бөлімге бөлінеді: криптография (шифрлау) және криптоанализ (криптоталдау). Криптография басқа бөгде адамдардың (қарсыластың) хабарламаны ұрлауынан, өшіруінен, көруінен және т.б. өзгертулерден қорғау үшін хабарламаның түрленуін қарастырады. Криптограф хабардың құпиялығын және нақтылығын сақтайтын әдістермен қамтамасыз етеді. Криптографиямен айналысатын адамды криптограф деп атайды. Криптоталдаушы шифрланған мәтінді құпиялы кілтсіз бұзып ашу әдістерін іздейді. Криптоталдаушы криптографқа шифрланған мәтінді құпиялы кілтсіз бұзып ашу әдістерін көрсетеді. Ашық мәтін деп бастапқы берілген хабарламаны айтады. Криптографтың ашық мәтінге қолданылған амалынан кейінгі нәтижені шифрланған мәтін немесе криптограмма деп атаймыз. Шифрлау деп шифр арқылы ашық мәтіннің шифрмәтінге айналу процесін айтады. Ашық мәтінді шифрлау үшін криптограф әрқашан құпия кілтін қолданады. Бұзып ашылуына қарсы тұра алатын шифрдың қабілетін шифрдың мықтылығы немесе беріктілігі дейміз.

Цезарь шифры – ең жеңіл және кеңінен тараған шифр әдісі. Оны Цезарь коды, Цезарь жылжытуы немесе жылжыту шифры деп те атайды. Цезарь шифры қарапайым алмастыру шифрының дербес жағдайы болып табылады. Бұл шифр өзінің атын Рим императоры Гай Юлий Цезарь есіміне байланысты алды. Ол бұл шифрды шамамен б.д.д. 50-ші жылдарда Цицеронмен хат алмасқанда қолданды. Шифрлау кезінде бастапқы мәтіннің алғашқы әрпі сол алфавиттің басқа әрпіне ауыстырылады, ол келесі ереже бойынша жүреді: алмастыратын әріп алфавиттегі әріптер бойынша ауыстыру арқылы алынады. Алфавиттің соңына жеткенде цикілді түрде оның басына ауысады. Цезарь құпия кілті $K=3$ қолданады. Мұндай алмастыру шифрын ашық мәтін мен шифрланған мәтіннің әріптерінің сәйкес жұптарынан тұратын ауыстыру кестесі арқылы беруге болады.

Мысалы, Цезарьдің КЕЛДІМ КӨРДІМ ЖЕНДІМ жолдауы шифрланған кезде мына түрде болар еді: МЗҢЖЮО МСУЖЮО ЙЗПЖЮО.

Цезарьдың шифрлау жүйесінің ерекшелігі – шифрлау мен шифрды ашудың қарапайымдылығында болып табылады. Ал Цезарь жүйесінің кемшілігіне мыналарды жатқызуға болады:

- бастапқы ашық мәтіннің пайда болған әртүрлі әріптерінің жиілігін жасыра алмайды;
- ауысатын әріптер тізбегінің алфавиттік реті сақталады;
- К мәні өзгерген кезде тек осындай тізбектің бастапқы позициясы ғана өзгереді;
- К мүмкін кілттер саны аз;

Биралфавитті алмастыру жүйесіне қарсы криптоталдаушы шабуыл символдардың жиілігін есептеуден басталады, яғни шифрланған мәтіндегі әрбір әріптердің саны анықталады. Шифрланған мәтіндегі әріптердің жиілігі бастапқы хабар алфавитіндегі әріптердің жиілігімен салыстырылады, мысалы ағылшын тілінде шифрланған мәтіндегі ең жоғарғы жиіліктегі әріп ағылшын тіліндегі ең жоғарғы жиілікті әріппен ауыстырылады. Шифрлау жүйесінің ашылу ықтималдығы шифрланған мәтіннің ұзындығы өскен сайын артады. Сонымен қатар Цезарь шифрлау әдісінің өзіндік артықшылығы бар. Ол артықшылықты мен өз мысалыммен түсіндірейін. Ең алдымен Цезарь шифрлау әдісі кезінде қолданылған $K=3$ әдісін мен өзгерте отырып, шифрлаушы қаскүнемге үлкен қиындық тудырамын. Цезарь шифрлау әдісіне сүйене отырып жасаған менің әдісім бойынша қайта шифрлау кезінде шифрлау кілтін мен құпия хабарлама жіберуші адамға өзім алдын-ала сенімді жолмен беремін. Бұл дегеніміз менің шифрлау әдісіндегі әріптер Цезарь шифрлау әдісіндегі секілді 3 әріптік қадаммен емес керісінше қазақ тіліндегі кең көлемді алфавит арқасында мен оларды бейберекет, яғни кездейсоқ (рандом) ретпен орналастырдым. Осының нәтижесінде бізде пайда болған менің шифрлау жүйемді бұзу бұл тек қана ақпарат көлемі көп болып әріптердің қайталану кезінде ғана өте қатты мұқияттылықты талап ете отырып шешіледі.

Менің шифрлау әдісім:

А	Ә	Б	В	Г	Ғ	Д	Е	Ё	Ж	З	И	Й	К	Қ	Л	М	Н	Ң	О	Ө
П	Л	Д	Г	Ш	Х	Ң	Ә	И	І	Ю	С	Ж	А	Р	У	Ё	Ц	Й	Ф	Ы
П	Р	С	Т	У	Ұ	Ү	Ф	Х	Ь	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	І	Ь	Э	Ю	Я
Ъ	Т	Ч	Я	В	Б	Н	К	Э	М	Е	Ғ	З	Ұ	Қ	Ш	О	Ь	У	Ө	Ь

ҚОРЫТЫНДЫ

Жалпы қорыта келетін болсақ қазіргі заманда криптографияның орны тым бөлек. Заман дамыған сайын адамдардың бір-бірімен қауіпсіз ақпарат алмасуы қиындап бара жатыр. Криптография саласы осы мәселелермен күресу барысында үлкен жетістіктерге жетіп жатыр. Бұл қазір таңда криптография саласының жақсы дамып келе жатқанның бірден-бір дәлелі. Және де криптография саласы тағатсыз дами береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Асамбаев, А. Ж.** Криптография негіздері. – Павлодар, 2012.
- 2 **Алферов, А. П., Зубов, А. Ю., Кузьмин, А. С. и др.** Основы криптографии. – М. : Гелиос АРВ, 2001.
- 3 **Брассар, Ж.** Современная криптология. – М. : Полимед, 1999.
- 4 **Василенко, О. Н.** Теоретико-числовые алгоритмы в криптографии. – М. : МЦНМО, 2003.
- 5 **Әбдіқалықов, Қ. Ә.** Криптографияның негіздері. Алматы, 2012.
- 6 **Диффи, У., Хеллман, М. Э.** Защищенность и имитостойкость: Введение в криптографию //ТИИЭР. – 1979.
- 7 **Задирака, В. К., Абдикаликов, К. А.** Элементы современной криптографии и методы защиты банковской информации. – Алматы. Респ. Изд. Кабинет. 1999.
- 8 **Абдикаликов, К. А.** Традиционные симметричные криптосистемы. – Актөбе : АГУ им. К. Жубанова, 2003.
- 9 **Diffie, W., Hellman, M.** New directions in cryptography // IEEE Trans. on Informat.Theory. – 1976.
- 10 **Әбдіқалықов, Қ.** Криптография негіздері // – Алматы. – 2012.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

T. F. Serikov¹, A. M. Qudaibergen²

Вид криптографии, основанный на криптографии Виженера и Цезаря

^{1,2}Қарагандинский государственный технический университет,
г. Караганда, 100027, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 12.06.19.

T. G. Serikov¹, A. M. Qudaibergen²

A type of cryptography based on the cryptography of Vigenere and Caesar

^{1,2}Karaganda State Technical University,
Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

В этой работе выполняется новая модель криптографии на основе метода Виженера и Цезаря. В настоящее время техника развивается. То есть, безопасность наших собственных устройств, таких как наш мобильный телефон, очень важна. В ходе этой работы

мы создали новую модель криптографии на основе симметричной криптографии. Благодаря этой работе была создана модель симметричной криптографии, решение которой очень сложно.

In this paper, a new cryptography model based on the Viginer and Caesar method is performed. Currently, the technique is developing. That is, the security of our own devices, such as our mobile phone, is very important. In the course of this work, we have created a new cryptography model based on symmetric cryptography. Thanks to this work, a model of symmetric cryptography was created, the solution of which is very difficult.

Т. Ф. Серіков¹, Н. М. Құрманбай²

¹аға оқытушы, PhD доктор, «Байланыс жүйелер технологиясы» кафедрасы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы;

²3 курс студенті, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., 100012, Қазақстан Республикасы
e-mail: ¹tansaule_s@mail.ru; ²nurgisa.kurmanbai@mail.ru

ASCII КОДЫ НЕГІЗІНДЕГІ КРИПТОГРАФИЯЛАУДЫҢ ЖАҢА ҮЛГІСІ

Бұл жұмыста ASCII кодының негізінде криптографияның жаңа моделі орындалады. Қазіргі уақытта техника даму үстінде. Яғни, біздің ұялы телефон сияқты жеке құрылғыларымыздың қауіпсіздігі өте маңызды. Бұл жұмыстың барысында ұялы телефон қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін ASCII кодының негізінде криптографиялаудың жаңа үлгісін құрдық.

Кілтті сөздер: ASCII кодыны, криптографияның жаңа моделі, техника даму үстінде, ұялы телефон қауіпсіздігі.

КІРІСПЕ

Ақпаратты басқа бөгде адам оқи алмайтындай етіп, өзгертіп қорғау мәселесі ерте заманнан адамзатты ойландырып келеді. Криптография тарихы адам тілі тарихымен қатарлас дамуда. Тіпті жазудың өзі бастапқыда криптографиялық жүйе болып табылатын, себебі ерте заманда жазуды тек таңдаулылар ғана білді. Ежелгі Египет, ежелгі Индияның қасиетті кітаптары оған мысал бола алады. Цезарь өз хаттарында біраз жүйеленген, өз атымен аталатын шифр пайдаланған.

ASCII (ағылшын тілінде «American standard code for information interchange») – кейбір ортақ баспа және баспалық емес таңбаларға сандық кодтар тағайындалған кодтау жүйесінің атауы. ASCII кодтау жүйесінің кестесі 1963 жылы АҚШ-та әзірленген және сол уақытта стандартпен бекітілген. [1].

ASCII – әр таңбаға 0 мен 127 аралығындағы нөмірлер берілген сандар түріндегі таңбаларды ұсыну коды. Бұл жүйе көптеген компьютерлерде деректерді екінші компьютерге аударуға мүмкіндік береді және сол компьютерде кодты көрсету үшін пайдаланылады. ASCII кодының

стандартты жүйесі әр символ үшін 7 битті пайдаланады. 8-биттерді қосу ASCII кестеде кодтардың санын 255-ке дейін ұлғайтуға әкеледі. 128-ден бастап 255-ке дейін кодтар – бұл кестені кеңейткендегі символдардың кодтары. Бұл кодтар ұлттық алфавиттердің таңбаларын, сондай-ақ мәтінде әр түрлі кадрлар мен мәтіндік кестелерді пішімдеу үшін пайдаланылуы мүмкін псевдографиялық таңбаларды кодтау үшін пайдаланылады [2].

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Бұл жекеменшік жұмыста ASCII кодының 32 мен 127 арасындағы «негізгі бөлігін» қолданамыз. Төмендегі суретте ASCII кодының стандартталған жүніежүзілік стандарты көрсетілен (32-127 кодтар интервалы).

Код	Символ	Код	Символ	Код	Символ	Код	Символ
32	пробел	56	8	80	P	104	H
33	!	57	9	81	Q	105	I
34	"	58	:	82	R	106	J
35	#	59	;	83	S	107	K
36	\$	60	<	84	T	108	L
37	%	61	=	85	U	109	M
38	&	62	>	86	V	110	N
39	'	63	?	87	W	111	O
40	(	64	@	88	X	112	P
41	)	65	A	89	Y	113	Q
42	*	66	B	90	Z	114	R
43	+	67	C	91	[	115	S
44	,	68	D	92	\	116	T
45	-	69	E	93	]	117	U
46	.	70	F	94	^	118	V
47	/	71	G	95	_	119	W
48	0	72	H	96	`	120	X
49	1	73	I	97	A	121	Y
50	2	74	J	98	b	122	Z
51	3	75	K	99	c	123	{
52	4	76	L	100	d	124	|
53	5	77	M	101	e	125	}
54	6	78	N	102	f	126	~
55	7	79	O	103	g	127	del

Сурет 1 – ASCII кодының 32-127 интервалындағы символдары мен кодтары

Бұл жұмыстың барысында біз ASCII кодын пайдаланып ұялы телефонның жұмыс бөлігіне енуі іске асыратын кодтау негізін қарастыратын боламыз. Ол үшін келесідей 8x8 ұяшықтар санынан тұратын кестенің екеуін жасап аламыз. Ол екі кестенің алғашқысында – криптографияның ашық кілтті, екіншісінде – криптографияның жабық кілтті көрсетіледі.

Криптографиядағы ашық кілт дегеніміз – барлық адамдарға қолжетімді, қолданыста кез келген адамға ұсынылатын символдар немесе алдын ала тағайындалған кодтар тізбегі.

Криптографиядағы жабық кілт дегеніміз – тек кодтың иесіне және оның авторларына ғана белгілі болып табылатын кілттің түрі. Ол барлық адамдар үшін қолжетімді бола алмайды, себебі жабық кілт декодтауды жүзеге асырудың негізі болып саналады.

Сонымен, бірінші кезекте, 8x8 кестесінен тұратын екі кестені аламыз да, оларды санмен толықтырамыз. Санмен толықтыру кезінде ашық кілтке – ASCII коды негізіндегі кодтарды өзімізге белгілі ретпен толтырамыз, ал жабық кілтке – бүтін сандарды төмендегідей реттілікпен орналастырамыз.

83	80	40	75	97	117	115	114
109	122	97	115	109	61	115	50
117	119	97	45	110	111	98	110
97	33	103	114	63	32	74	100
74	105	58	78	53	52	117	56
57	110	32	120	114	130	80	54
103	52	105	57	114	57	115	63
95	105	96	109	109	97	101	32

2 сурет – ASCII коды негізіндегі криптографияның ашық кілті

1	2	3	4	13	9	5	1
5	6	7	8	14	10	6	2
9	10	11	12	15	11	7	3
13	14	15	16	16	12	8	4
4	8	12	16	16	15	14	13
3	7	11	15	12	11	10	9
2	6	10	14	8	7	6	5
1	5	9	13	4	3	2	1

3 сурет – Бүтін сандар негізіндегі криптографияның жабық кілті

Екінші ретте, жоғарыдағы суретте көрсетілген жабық кілттің қою кара сызықпен ажыратылатын бөліктерін сәйкестерінше 1, 2, 3, 4 сандарымен белгілеп аламыз. Реттілігі солдан оңға қарай: бірінші қатарда 1, 2 – бөліктер,

астыңғы қатарда 3, 4 – бөліктер орналасқан деп есептейік. Сонда сол жабық кілт бойынша төрт бөліктің әрқайсысынан бір-біріне сәйкес келіп қалмайтындай етіп төрт-төрт ұяшықтан, жалпы 16 ұяшықты жабық кілттің көздері ретінде қарастырамыз.

Біздің жұмысымызда жабық кілттің көздері ретінде алынған қяшықтар келесі реттілікпен «рандомды» түрде таңдалды.

Кесте 1 – Криптографияның жабық кілттің көздері

1-бөлік	1					7		9						15	
2-бөлік			3			6						12		14	
3-бөлік				4	5							11		13	
4-бөлік		2						8		10					16

1-кестеде көрсетілгендей жабық кілттің әрбір бөлігінің сандарын сәйкесінше ерекшелеп немесе қырқып аламыз. Сонда бізде жабық кілттің моделі дайын болады. Жабық кілттің тура бағыты – ізделінетін ұялы телефонның маркасының коды көрсетіледі, оны 90 градусқа оңға қарай бұратын болса – ұялы телефонның иесінің коды шығады, егер үшінші рет 90 градусқа оңға қарай бұратын болса – ұялы телефонның сыртқы құпия-сөзінің коды көрсетіледі.

Қиылған жабық кілтті тура бағытында ASCII коды негізіндегі криптографияның ашық кілттің үстіне қою арқылы келесідей кескіндерді аламыз:

83							
		97		109		115	
117							110
		103			32		
74				53			
		32				80	
				114			
	105		109				101

4 сурет – Ұялы телефон маркасы атауының ASCII негізіндегі кодтары

Қиылған жабық кілтті бірінші реттік 90 градусқа бұрған күйінде ASCII коды негізіндегі криптографияның ашық кілттің үстіне қою арқылы келесі кескіндерді аламыз:

			75		117		114
109							
		97		110		98	
97							
	105		78				117
				114			
103	105						115
						97	

5 сурет – Ұялы телефон иесінің аты-жөнінің ASCII негізіндегі кодтары

	80			97			115
			115				
	119				111		
			114				100
		58			52		
57							54
	52		57		57		
							32

6 сурет – Ұялы телефон құпия-сөзінің ASCII негізіндегі кодтары

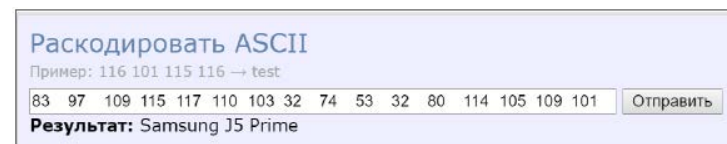
Келесі кезекте көрсетілген кескіндердегі кодтарды символдарға айналдыруымыз керек. Ол үшін қатар реттілігін сақтай отырып, ұяшықтардан көрініп тұрған ASCII негізіндегі кодтарды жазып алуымыз керек. Сонда бізде жоғарыдағы үш сурет бойынша келесі кестедегідей мәндер алынады.

Кесте 2 – Кескіндерден алынған ASCII негізіндегі кодтар

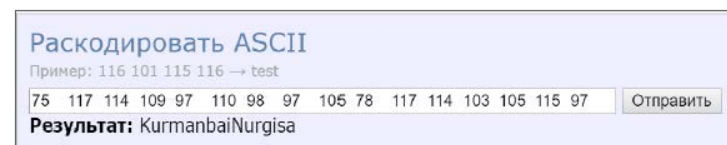
4-сурет	83	97	109	115	117	110	103	32	74	53	32	80	114	105	109	101
5-сурет	75	117	114	109	97	110	98	97	105	78	117	114	103	105	115	97
6-сурет	80	97	115	115	119	111	114	100	58	52	57	54	52	57	57	32

Әрбір кескіндерге сәйкес ASCII негізіндегі кодтарды жазып алғаннан кейін, 1-сурет бойынша немесе ғаламтордағы арнайы декодтайтын қосымша жүйе арқылы жазып алынған кодтарды декодтаймыз. Біздің нұсқада ғаламтор парақшасы арқылы ASCII кодын декодтауды жүзеге асырамыз.

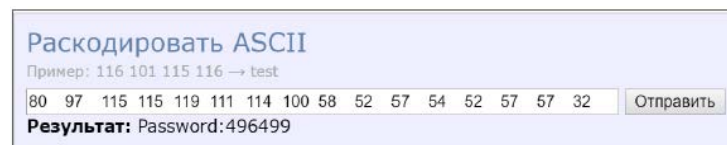
Ғаламтор парақшаларындағы қосымша декодтаушы жүйе арқылы келесідей нәтижелерге қол жеткіземіз. Декодтауды жүзеге асыру үшін қолданылатын ғаламтор сайты – <https://decodeit.ru/ascii>.



7 сурет – Ұялы телефон маркасы атауының декодталуы



8 сурет – Ұялы телефон иесі аты-жөнінің декодталуы



9 сурет – Ұялы телефон құпия-сөзінің декодталуы

ҚОРЫТЫНДЫ

Жалпылай алғанда бұл жұмыс арқылы ASCII кодын декодтауды және сол арқылы өзіміз көздеген объектінің ұялы телефонына қатынас жасауға қол жеткіздік. Сонымен қатар, ашық және жабық кілттерді қолданудың принциптерін және олардың қолданылуын көрсеттік. Қорытындылай алғанда, ұялы телефон үшін де криптографиялау мысалын қолдануға болатынына өзіміз дәлел жасадық.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Әбдіқалықов, Қ.** Криптография негіздері // Алматы. – 2012.
- 2 **Құсайынов, А.** Қазақ тілі терминдерінің салалық ғылыми түсіндірме сөздігі: Информатика және компьютерлік техника // Алматы. – 2002.
- 3 **Клемешев, Н.** Инструментальный подход к работе с новыми коммуникационными технологиями / Н. Клемешева // Беспроводные технологии. 2006. – № 3. – С. 7–19.

4 **Захаров, Д.** Интернет начинает эфирное вещание / Д. Захаров // Коммерсантъ: Приложение ТЕЛЕКОМ. – 2004. – № 83. – С. 2805–2922.

5 **Кразит, Т.** Стандарт IEEE 802.15.4 как альтернатива / Т.Кразит // Computer-world. – 2003. – № 34. – С. 17–60.

6 **Бараш, Л.** Многообразие стандартов беспроводных технологий / Л.Бараш // Компьютерное обозрение. – 2003. – № 10. – С. 365–379.

7 **Стандарты и технологии (беспроводные системы) // Электронные компоненты. – 2003. – № 5. – С.79–83.**

8 **Мейтин, М.** Bluetooth: устройства всех стран, соединяйтесь! Без проводов / М. Мейтин М // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2003. – № 5. – С.70–95.

9 **Шахнович, И.** Беспроводные локальные сети. Анатомия стандартов IEEE 802.11 / И. Шахнович // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2003. – № 1. – С. 30–45.
10 <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=730702>

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

T. F. Serikov¹, N. M. Qurmanbai²

Новая модель криптографии на основе кода ASCII

^{1,2}Карагандинский государственный технический университет,
г. Караганда, 100012, Республика Казахстан.
Материал поступил в редакцию 12.06.19.

T. G. Serikov¹, N. M. Qurmanbai²

New cryptography model based on ASCII code

^{1,2}Karaganda State Technical University,
Karaganda, 100012, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.06.19.

В этой работе выполняется новая модель криптографии на основе кода ASCII. В настоящее время техника развивается. То есть, безопасность наших собственных устройств, таких как наш мобильный телефон, очень важна. Для обеспечения безопасности мобильного телефона в ходе этой работы мы создали новую модель криптографии на основе кода ASCII.

In this work, a new cryptography model based on ASCII code is performed. Currently, the technique is developing. That is, the security of our own devices, such as our mobile phone, is very important. In order to ensure the security of the mobile phone, we have created a new cryptography model based on ASCII code.

ГРНТИ 28.23.15

И. Э. Сулейменов¹, Э. Е. Копишев², И. Т. Пак³, А. Бакиров⁴, И. Молдахан⁵, Э. Сапанова⁶, И. Е. Копишев⁷

¹д.х.н., профессор, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

²к.х.н., доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан;

³д.т.н., академик НАН РК, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁴докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁵докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁶докторант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

⁷магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: eldar_kopishev@mail.ru

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Показано, что весовые коэффициенты нейронных сетей, в которых входы и выходы нейронов могут находиться только в одном из двух состояний, могут выбираться только из определенного дискретного множества. Точнее, все множество последовательностей весовых коэффициентов для каждого из нейронов распадается на конечную совокупность подмножеств, причем если вместо конкретной последовательности весовых коэффициентов использовать другую последовательность коэффициентов из того же подмножества, то результат операций, производимых нейронной сетью, останется неизменным. Сформулирована и доказана соответствующая теорема. Рассмотрен пример нейрона, обладающего тремя бинарными входами и бинарным выходом; показано, что существует всего 14 различных вариантов выбора его весовых коэффициентов. Установлено, что описание функционирования нейрона такого типа может быть сведено ко вполне определенным логическим операциям. Обсуждается вопрос о возможности применения полученного результатов работы

для описания аналогов нейронных сетей, возникающих в системах социальной природы.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, полином Жегалкина, весовые коэффициенты, дискретные множества, функция активации, процедура голосования.

ВВЕДЕНИЕ

Для целого ряда практических приложений в настоящее время активно используются нейронные сети, элементы которых характеризуются ступенчатой функцией активации [1–4], т.е. состояние всех нейронов данной сети характеризуется переменной, которая может принимать только два значения.

Для описания работы такого рода нейронных сетей существуют различные методы, равно как существуют различные методы и их обучения [5–7]. Данные методы, как правило, предполагают, что весовые коэффициенты, описывающие работу каждого из нейронов сети, могут принимать непрерывные значения, причём именно возможность непрерывного изменения коэффициентов ложится в основу существующих методик обучения большинства нейронных сетей такого типа [8].

В то же время существуют предварительные результаты [9], которые показывают, что весовые коэффициенты нейронов со ступенчатой функцией активации могут выбираться только из конкретного дискретного множества. Это обстоятельство представляется важным в двух аспектах.

Во-первых, если весовые коэффициенты нейронов со ступенчатой функцией активации могут выбираться только из некоторого дискретного множества, то тогда существует возможность модернизировать существующие подходы к обучению таких нейронных сетей, заметно сократив количество операций и продолжительность соответствующих процедур обучения.

Однако более важным представляется второй аспект, а именно, в работах [10,11] было показано, что существует целый ряд систем социальной природы, которые могут быть поставлены в соответствие нейронным сетям. В частности, в работе [11] было показано, что процедура голосования в любом Совете, принимающем решение большинством голосов, может быть поставлена в соответствие работе нейронной сети. В данном случае каждый член Совета де-факто преобразует массив данных, поступающих на его «вход» в одно из двух возможных значений двоичной переменной (если исключить из рассмотрения случай «Воздержался»).

Тот факт, что при голосовании каждый из членов Совета принимает во внимание прогнозируемое мнение других членов, приводит к тому [11], что в такой системе, де-факто, реализуются обратные связи, что и позволяет утверждать, что схема процедуры голосования топологически эквивалентна

схеме нейропроцессора Хопфилда [11]. Очевидно, при экспериментальном исследовании, равно как и при теоретическом описании такого рода систем, встает задача об определении конкретных численных значений весовых коэффициентов нейронной сети.

Если исходить из предположения что данные коэффициенты изменяются непрерывно, то тогда их измерения для аналогов нейронных сетей в социальных системах становится весьма трудоемкой задачей. Напротив, если коэффициенты такого аналога нейронной сети могут принимать только дискретные значения, то тогда вопрос об их измерении фактически отпадает. Он заменяется выбором соответствующего значения, что вполне можно сделать уже только из одних качественных соображений.

Упрощая, можно сказать, что в данном случае достаточно различать ситуации положительного или отрицательного влияния одного члена совета на других. Соображения такого рода делают весьма актуальным сведение процедуры отыскания весовых коэффициентов нейронной сети к выбору одного из нескольких дискретных значений. В данной работе показано, что нейронные сети, элементы которых характеризуется ступенчатой функции активации, действительно, могут быть описаны через дискретные значения весовых коэффициентов.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

В более ранних работах [12] было уже доказано, что человеческие сообщества можно поставить в соответствие нейронной сети. Так рассматривался пример, в котором рассматривается процедура голосования в некотором обобщенном Совете (конкретной реализацией является, например, совет по защите диссертаций).

В идеализированном случае каждому члену Совета, принимающего решение методом голосования, можно поставить в соответствие аналог нейрона. Аналогия правомочна, так как каждый член Совета фактически преобразует входной сигнал (получаемую им информацию, например, доклад диссертанта) в двоичную (если исключить ситуацию «Воздержался») логическую переменную; «0» = «За»; «1» = «Против». Однако на практике каждый из членов Совета в или иной мере принимает во внимание мнение остальных коллег. Например, достаточно распространена ситуация, когда негативное мнение о диссертанте существенно усиливается, если он является учеником конкурента или оппонента, точнее голос «против» в данном случае может быть подан по сугубо личным мотивам. Легко вообразить себе и обратную ситуацию – слабая диссертация проходит в силу личных связей.

Схематически, влияние членов совета друг на друга можно изобразить через систему обратных связей, рис.1. Вообще говоря, мнение каждого

члена совета влияет на мнение всех остальных коллег (это отвечает тому, что каждый элемент в схеме рис.1 соединен обратной связью со всеми остальными), однако, степень такого влияния может быть различной.

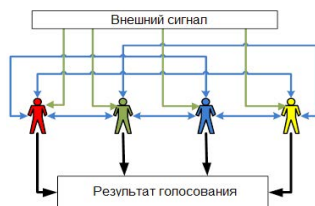


Рисунок 1 – Схема взаимодействий между членами голосующего Совета

Соответственно, схема рис. 1, как и нейропроцессор Хопфилда, описывается через матрицу весовых коэффициентов. Точнее, рассматриваемая схема оказывается топологически эквивалентной нейропроцессору Хопфилда (рис.5.2).

Данная модель любопытна тем, что она наглядно показывает следующие обстоятельства. При условии, что число членов совета, принимающих решение методом голосования, является достаточно большим, а связи между ними являются распределенными, то решение фактически принимают не отдельные члены совета, и даже не их совокупность, а сформированная нейронная сеть. Другими словами, этот пример показывает, что существуют процессы переработки информации, которые протекают на более высоком уровне, нежели тот, что связан с отдельным элементом системы. В системе возникает новое качество, несводимое к поведению отдельных составляющих элементов.

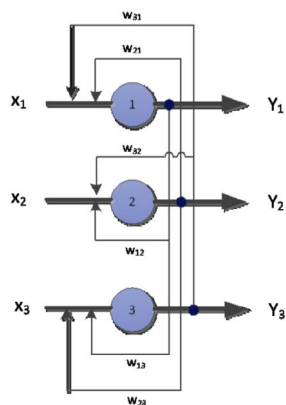


Рисунок 2 – Схема обратных связей в нейропроцессоре Хопфилда

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ

В данной рассматриваются сети, составленные из нейронов со ступенчатой функцией активации:

$$\theta(x) = \begin{cases} -1, & x \leq 0 \\ +1, & x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Выражение для преобразования совокупности входных сигналов отдельным нейроном имеет стандартный вид:

$$Y = \theta(w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_NX_N) \quad (2)$$

где w_i – весовые коэффициенты, X_i – переменные, описывающие состояние входов нейрона. Предполагается, что они также могут принимать только дискретные значения -1 и +1.

$$X_i \in (-1, +1) \quad (3)$$

Выражение (2) допускает прозрачную геометрическую интерпретацию. А именно, можно указать гиперплоскость

$$w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_NX_N = 0 \quad (4)$$

которая делит все N -мерное пространство \mathfrak{R}^N на два полупространства W^+ и W^- .

Если точка

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (5)$$

попадает в полупространство W^+ ; $X \in W^+$, то переменная $Y = 1$. Если $X \in W^-$, то $Y = -1$.

В рамках проективной геометрии [13] наряду с пространством \mathfrak{R}^N рассматривается также двойственное пространство.

Наглядное представление о природе двойственного пространства можно составить, отталкиваясь от симметрии записи (4) по отношению к набору переменных (5) и аналогичному набору переменных

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_N) \quad (6)$$

Действительно, в записи (4) набор величин (5) можно рассматривать как координаты точки в пространстве \mathbb{R}^N , но точно так же набор величин (6) можно рассматривать как координаты точки в некотором пространстве, которое именуется двойственным [14]. Соответственно, в исходном пространстве набор величин (6) трактуется как координаты гиперплоскости, а в двойственном пространстве, наоборот, как координаты гиперплоскости трактуется набор величин (5).

В этом смысле пространство \mathbb{R}^N и двойственное к нему являются симметричными; точка в исходном пространстве \mathbb{R}^N становится гиперплоскостью в двойственном пространстве и, наоборот, гиперплоскость в исходном пространстве (например, та, что описывает поведение нейрона (4)) становится точкой.

Наглядное представление об основной идее проективной геометрии применительно к анализу работы нейронных сетей дает рис. 3, на котором представлен куб в трехмерном пространстве (рис. 3а) и октаэдр (рис. 3б), который ему соответствует в двойственном пространстве.

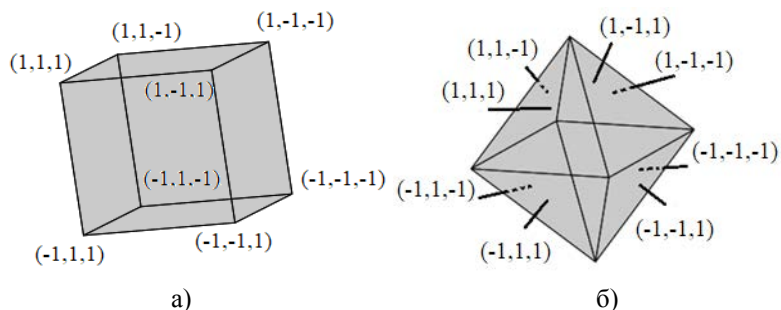


Рисунок 3 – Удвоенный единичный куб в исходном пространстве (а) и соответствующий ему октаэдр в двойственном пространстве (б)

Восемь вершин куба (рис. 3а) соответствуют восьми граням октаэдра (рис. 3б) (применительно к случаю трехмерного пространства точка соответствует плоскости в двойственном пространстве, и вершины куба переходят в грани октаэдра). Сходным образом, шесть граней куба в исходном пространстве соответствуют шести вершинам октаэдра в двойственном пространстве (плоскости переходят в точки).

Исходя из логики проективной геометрии, представляется целесообразным сконцентрировать внимание на рассмотрении геометрических образов, определяющих поведение нейронов сети, именно в терминах двойственного пространства. Действительно, если перейти в двойственное пространство, то все гиперплоскости, определяющие функционирование каждого из нейронов

сети, являются фиксированными. Точнее, существует только конечное множество гиперплоскостей вида (4), которые делят все двойственное пространство \mathbb{R}_1^N на конечное количество подобластей.

Все возможные последовательности вида (5) в исходном пространстве представляют собой вершины удвоенного единичного гиперкуба. Координаты вершин гиперкуба становятся координатами гиперплоскостей в двойственном пространстве, как это иллюстрирует рис. 1 применительно к случаю трехмерного пространства.

Следовательно, каждая из этих гиперплоскостей определяет разбиение двойственного пространства весовых коэффициентов \mathbb{R}_1^N на два подпространства.

Будем говорить, что данный вектор весовых коэффициентов принадлежит множеству $\Gamma^+(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$

$$(w_1, w_2, w_3, \dots, w_N) \in \Gamma^+(\{X_i\}_{i=1}^{i=N}) \tag{7}$$

если выполняется условие

$$\sum_i^N w_i X_i > 0 \tag{8}$$

и наоборот он принадлежит к множеству $\Gamma^-(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$,

$$(w_1, w_2, w_3, \dots, w_N) \in \Gamma^-(\{X_i\}_{i=1}^{i=N}) \tag{9}$$

если выполняется условие

$$\sum_i^N w_i X_i \leq 0 \tag{10}$$

По построению, множество $\Gamma^\pm(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$ существует только конечное число. Соответственно, существует и конечное число пересечений, которые могут сформировать данный множества при рассмотрении функционирования нейрона, описываемого совокупностью величин (6).

Подчеркиваем, что в двойственном пространстве существует только конечное число областей, на которые его делят гиперплоскости (4). Если некоторая точка w (б) в двойственном пространстве попадает в определенную область, то ее можно заменить на любую другую точку из той же самой области. Состояние выхода нейрона при этом не изменится. Именно это соображение и позволяет утверждать, для описания функционирования нейрона со ступенчатой функцией активации в действительности можно использовать весовые коэффициенты из дискретного набора.

Рассмотрим характер формирования множеств, на которые распадается двойственное пространство при описании функционирования отдельного нейрона, более подробно.

Для гиперкуба размерности N существует ровно 2^{N-1} множеств $\Gamma^+(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$ не совпадающих ни с одним из множеств $\Gamma^-(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$, и ровно 2^{N-1} таких множеств $\Gamma^-(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$. Это связано с тем, что для каждой вершины, определяемой набором двоичных переменных $X_i = -1, 1$, т.е. вектором

$$X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) \tag{11}$$

можно указать вершину, которая характеризуется противоположно направленным вектором

$$\vec{X} = -(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) \tag{12}$$

Сформируем множества

$$\Lambda(\vec{\beta}) = \bigcup_{\vec{\beta}} \Gamma^{\beta_j}(\{X_i\}_{i=1}^{i=N}) \tag{13}$$

где мультииндекс $\vec{\beta}$ обозначает последовательность выбора знаков множеств $\Gamma^{\pm}(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$ длиной 2^{N-1} .

Пусть функционирование нейрона с N входами описывается функцией активации (2). Тогда результат подачи на входы любых последовательностей N двоичных переменных для двух различных функций активации, описываемых векторами строк $\vec{w}^{(1)} = (w_1^1, w_2^1, w_3^1, \dots, w_N^1)$ и $\vec{w}^{(2)} = (w_1^2, w_2^2, w_3^2, \dots, w_N^2)$ будет одинаков, если $\vec{w}^{(1)} \in \Lambda(\vec{\beta})$, $\vec{w}^{(2)} \in \Lambda(\vec{\beta})$, т.е. указанные вектора принадлежат одному и тому же множеству $\Lambda(\vec{\beta})$. Иными словами, нейроны, подключаемые в сеть с весовыми коэффициентами $\vec{w}^{(1)}$ и $\vec{w}^{(2)}$, работают неразличимо. Это вытекает из того, что для двух векторов из этого множества их скалярные произведения на вектора (11), отвечающие любой возможной комбинации двоичных переменных, подаваемой на входы нейронной сети, будут иметь один и тот же знак.

Тем самым доказана следующая теорема.

В формуле, описывающей активацию нейрона (2) при подаче на его вход совокупности двоичных сигналов, способных принимать значения -1 и $+1$, вектор весовых коэффициентов $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_N)$, принадлежащий множеству $\Lambda(\vec{\beta})$ может быть заменен на любой другой вектор из этого множества.

Формально, таких множеств можно сформировать $2^{2^{N-1}}$, т.е. существует не более $2^{2^{N-1}}$ различных последовательностей, описывающих возможные варианты строк весовых коэффициентов. В действительности же сам характер функции (2) приводит к тому, что возможных вариантов гораздо меньше.

Покажем это на примере нейрона, обладающего тремя входами.

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ ПРИМЕР ДЛЯ СЛУЧАЯ НЕЙРОНА С ТРЕМЯ ВХОДАМИ

Для случая нейрона, обладающего тремя входами, функция активации имеет следующий вид.

$$Y = \theta(w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3) \tag{14}$$

Исходя из вида этой функции, можно утверждать, что все возможные области в проективном пространстве, которые определяют конкретное значение выходного состояния нейрона, обладающего тремя входами, определяются следующими четырьмя плоскостями.

$$w_1 + w_2 + w_3 = 0 \tag{15}$$

$$w_1 + w_2 - w_3 = 0 \tag{16}$$

$$w_1 - w_2 + w_3 = 0 \tag{17}$$

$$w_1 - w_2 - w_3 = 0 \tag{18}$$

Точнее, данные четыре плоскости делят всё двойственное пространство на вполне определенные подобласти в соответствии с общей теоремой 1. Если два вектора принадлежат одной и той же области, определяемой теоремой 1, то реакция нейрона, весовые коэффициенты входов которого характеризуемых двумя такими векторами, на любые значения входных переменных будет одинаковой, т.е. эти нейроны будут вести себя идентично и их можно рассматривать как неразличимые.

Следовательно, возможных вариантов реализации нейронов (точнее, совокупностей их весовых коэффициентов) существует равно столько, сколько существует подобластей, на которые двойственное пространство разделяется плоскостями, задаваемыми уравнениями (15) – (18).

Формально, таких областей должно быть 16: каждая из перечисленных выше плоскостей делит двойственное пространство на два полупространства, всего плоскостей четыре, и, следовательно, число возможных вариантов пересечений составляет $2^4 = 16$. В действительности таких подобластей существует ровно четырнадцать; это связано с тем, что некоторые пересечения плоскостей, задаваемых уравнениями (15) – (16), представляют собой пустые множества.

Можно выбрать следующие значения векторов в двойственном пространстве, характеризующие подобласти, на которые распадается двойственное пространство. (Этот выбор в силу доказанной выше теоремы 1 в известном смысле является произвольным и может осуществляться, в том, числе на основании соображений удобства.)

$$\vec{w}_1 = \pm(1,1,1) \tag{19}$$

$$\vec{w}_2 = \pm(1,1,-1) \tag{20}$$

$$\vec{w}_3 = \pm(1,-1,1) \tag{21}$$

$$\vec{w}_4 = \pm(1,-1,-1) \tag{22}$$

$$\vec{w}_5 = \pm(1,0,0) \tag{23}$$

$$\vec{w}_6 = \pm(0,1,0) \tag{24}$$

$$\vec{w}_7 = \pm(0,0,1) \tag{25}$$

$$\vec{w}_8 = \pm(0,0,0) \tag{26}$$

В перечень таких векторов в формулах (19)–(26) формально добавлен также еще вектор \vec{w}_8 , все компоненты которого равны нулю. Эта подобласть представляет собой вырожденную подобласть, которая формируется тогда, когда пересечение некоторых множеств $\Gamma^\pm(\{X_i\}_{i=1}^{i=N})$, определенных выше, пусто. Другими словами, нетривиальных преобразований существует не шестнадцать как это вытекает из формального подсчета, а четырнадцать. Две области являются вырожденными и соответствуют тому, что нейрон фактически отсутствует, т.е. все компоненты вектора равны нулю.

Характер множества векторов, задаваемых формулами (19) –(26), которые можно принять за базисные, иллюстрирует рисунок 4.

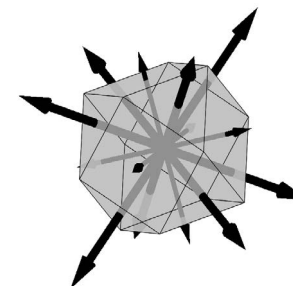


Рисунок 4 – Соответствие векторов из множества возможных комбинаций базовых векторов весовых коэффициентов для случая нейрона с тремя выходами с гранями кубоктаэдра

Рисунок подчеркивает, что число базисных векторов в рассматриваемом случае нейрона с тремя входами равно четырнадцати, причем они соответствуют граням кубоктаэдра (одно из архимедовых тел), а не шестнадцати, как это следовало бы из формального подсчета.

ВЫПОЛНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ФОРМАЛЬНЫМИ НЕЙРОНАМИ

Доказательство дискретизации весовых коэффициентов также можно дать, рассматривая взаимное соответствие операций, выполняемых нейроном со ступенчатой функцией активации (1) и логическими операциями.

Можно установить следующее соответствие между значениями, которые принимают переменные X_i , Y_i и логическими переменными

$$\begin{cases} -1 \rightarrow \text{логический } 0 \\ +1 \rightarrow \text{логическая } 1 \end{cases} \tag{27}$$

Тогда, используя отображение (27) для переменных X_i , Y_i можно построить аналог полинома Жегалкина [15], коэффициенты которого будут определены на множестве логических переменных.

По теореме Жегалкина, любая булева функция $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ N логических переменных представима в виде

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) = \sum_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N} f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} x_3^{\sigma_3} \dots x_N^{\sigma_N} \tag{28}$$

где суммирование ведется по всем возможным комбинациям логических переменных в последовательности $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N)$, каждая из которых может принимать значение или логического нуля, или логической единицы, обозначение $x_i^{\sigma_i}$ имеет следующий смысл:

$$x_i^{\sigma_i} = \begin{cases} x_i, & \sigma_i = 1 \\ \bar{x}_i, & \sigma_i = 0 \end{cases} \quad (29)$$

где символом \bar{x}_i обозначена операция логической инверсии

$$\bar{x}_i = 1 + x_i \quad (30)$$

Подразумевается, что в (28) сложение и умножение подчиняются правилам, в которых сложение осуществляется по модулю 2:

$$0 + 0 = 0, 1 + 0 = 1, 0 + 1 = 1, 1 + 1 = 0 \quad (31)$$

$$0 \cdot 0 = 0, 1 \cdot 0 = 0, 0 \cdot 1 = 0, 1 \cdot 1 = 1$$

Доказательство теоремы Жегалкина основывается на следующем обстоятельстве. Произведение вида

$$x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} x_3^{\sigma_3} \dots x_N^{\sigma_N} \quad (32)$$

будет отлично от нуля в том единственном случае, когда все входящие в него переменные $x_i^{\sigma_i}$ равны единице. Это может иметь место только для одной конкретной последовательности

$$(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) = (\sigma_{10}, \sigma_{20}, \sigma_{30}, \dots, \sigma_{N0}), \quad (33)$$

поскольку изменение любого из значений в этой последовательности приводит к тому, что в произведении (32) появляется сомножитель, равный нулю.

Следовательно, в многочлене (28) будет отличным от нуля только одно слагаемое, которое в точности равно $f(\sigma_{10}, \sigma_{20}, \sigma_{30}, \dots, \sigma_{N0})$, т.е. значению исходной булевой функции при данном выборе переменных $(\sigma_{10}, \sigma_{20}, \sigma_{30}, \dots, \sigma_{N0})$.

Таким образом, функции активации нейрона (1) может быть поставлена в соответствие некоторой булевой функции, определенной на множестве логических переменных. Это подтверждает вывод о том, что множество функций активации, задаваемых за счет выбора весовых коэффициентов в действительности является конечным, а не бесконечным, как это можно было бы предположить исходя из того, что каждый из весовых коэффициентов меняется непрерывно.

В частности, для рассмотренного выше иллюстративного случая нейрона с тремя выходами соотношения (19) – (26) приводят к следующим логическим выражениям.

$$Y = X_1 X_2 + X_1 X_3 + X_2 X_3 \quad (34)$$

$$Y = X_1 X_2 + X_1 X_3 + X_2 X_3 + X_2 + X_3 \quad (35)$$

$$Y = X_1 X_2 + X_1 X_3 + X_2 X_3 + X_1 + X_3 \quad (36)$$

$$Y = X_1 X_2 + X_1 X_3 + X_2 X_3 + X_1 + X_2 \quad (37)$$

$$Y = X_1 \quad (38)$$

$$Y = X_2 \quad (39)$$

$$Y = X_3 \quad (40)$$

Приведенный перечень (34) – (40) содержит 7 функций логической переменной, еще 7 функций получаются применением к ним операцией инверсии.

Подчеркиваем, что записанными соотношениями ограничиваются все операции, которые способен выполнить нейрон, входы и выход которого может находиться только в одном из двух состояний. **Какие бы весовые коэффициенты не были бы установлены**, операция, осуществляемая нейроном рассматриваемого типа, все равно сведется к одной из операций из представленного перечня (34) – (40).

ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты данной работы показывают, что вместо произвольных комбинаций весовых коэффициентов, описывающих работу нейронных сетей, можно брать комбинации весовых коэффициентов, элементы которых приобретают дискретные значения, взятые из вполне определенного дискретного множества.

Упрощая, для нейронов, входы и выход которых может находиться только в одном из двух состояний, существует только конечное множество последовательностей весовых коэффициентов, реально описывающих их функционирование. Обучение нейронной сети, какие бы методы при этом не использовались де-факто все равно сводится к выбору одной из этих последовательностей.

Данный вывод представляется весьма важным для целого ряда приложений, в которых требуется измерить весовые коэффициенты нейронных сетей (или их аналогов), реализующихся в системах социальной природы. В частности, такого рода приложения можно указать в области

нейроэкономики. Полученные результаты позволяют утверждать, что коэффициенты нейронных сетей, образованных социальными системами, могут быть определены из качественных соображений (или данных социологических опросов) без точных измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Deng, L., Hinton, G., Kingsbury, B.** New types of deep neural network learning for speech recognition and related applications: An overview // ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing – Proceedings. 2013.

2 **Buscema, P. M. et al.** Artificial neural networks // Studies in Systems, Decision and Control. 2018.

3 **Gardner, M. W., Dorling, S. R.** Artificial neural networks (the multilayer perceptron) – a review of applications in the atmospheric sciences // Atmos. Environ. 1998.

4 **Qian, L., Winfree, E., Bruck, J.** Neural network computation with DNA strand displacement cascades // Nature. 2011. Vol. 475, № 7356. – P. 368–372.

5 **Smith, L. N.** Cyclical learning rates for training neural networks // Proceedings – 2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, WACV 2017. 2017.

6 **Ukil, A., Bernasconi, J.** Neural Network-Based Active Learning in Multivariate Calibration // IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev. 2012. Vol. 42, № 6. – P. 1763–1771.

7 **Donahue, J. et al.** Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description // 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2015. – P. 2625–2634.

8 **Stastny, J., Skorpil, V.** Neural networks learning methods comparison. 2005. Vol. 4. – P. 325–330.

9 **Suleimenov, I. E., Kopishev, E. E., Panchenko, S.** Neural networks and error correcting codes: the analogy from the point of view based on neural network mechanism of complex system evolution. 2017.

10 **Suleimenov, I. E. et al.** Voting Procedure and Neural Networks // Int. J. Commun. 2014. Vol. 3, № 16–20.

11 **Suleimenov, I. et al.** Voting procedures from the perspective of theory of neural networks // Open Eng. 2016. Vol. 6, № 1. P. 318–321.

12 **Guimerà, R. et al.** Self-similar community structure in a network of human interactions // Phys. Rev. E. 2003. Vol. 68, № 6. P. 065103.

13 **Arnold, V. I.** Projective geometry // UNITEXT – La Matematica per il 3 piu 2. 2013.

14 **Sholl, D. S., Steckel, J. A.** Density Functional Theory: A Practical Introduction // Density Functional Theory: A Practical Introduction. 2009.

15 **Koryagin, K. N.** Level structure of Zhhegalkin polynomials, properties of test sets, and an annihilator search algorithm // Comput. Math. Math. Phys. 2010.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

И. Э. Сулейменов¹, Э. Е. Копишев², И. Т. Пак³, А. Бакиров⁴, И. Молдахан⁵, Э. Сапанова⁶, И. Е. Копишев⁷

Нейрондық желілердің салмағын дискреттеу

^{1,3}Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

²Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы;

^{4,5,6}Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., 050000, Қазақстан Республикасы;

⁷С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

I. E. Suleimenov¹, E. E. Kopishev², I. T. Pak³, A. Bakirov⁴, I. Moldahan⁵, E. Sapanova⁶, I. E. Kopishev⁷

Discretization of weights of artificial neural networks

^{1,3}Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan;

²L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan;

^{4,5,6}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, 05000, Republic of Kazakhstan;

⁷S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Нейрондық кіріс және шығыс тек екі жағдайдың бірінде болуы мүмкін нейрондық желілердің салмақ коэффициенттері белгілі бір дискретті жиыннан таңдауға болады. Нақтырақ айтқанда, әр нейрондық үшін салмақ реттілігінің барлық жиынтығы соңғы жиынтықтардың жиынтығына бөлінеді және егер салмақ коэффициенттерінің белгілі бір реті орнына сол подмножественных коэффициенттердің кезектілігін пайдалансақ, онда нейрондық

желімен орындалатын операциялар нәтижесі өзгеріссіз қалады. Туісті теорема тұжырымдалған және дәлелденген. Үш екілік кіріс және екілік шығу бар нейронның мысалы қарастырылады; Оның салмағы үшін 14 түрлі таңдау бар екенін көрсетті. Осы типтегі нейронның жұмыс сипаттамасы дұрыс анықталған логикалық операцияларға дейін азайтылуы мүмкін екендігі белгіленді. Әлеуметтік сипаттағы жүйелерде пайда болатын нейрондық желілердің аналогтарын сипаттау үшін алынған нәтижелерді қолдану мүмкіндігі туралы мәселе талқыланады.

It is shown that the weighting coefficients of neural networks, in which the inputs and outputs of neurons can only be in one of two states, can be selected only from a certain discrete set. More precisely, the entire set of weighting sequences for each of the neurons is divided into a finite set of subsets, and if instead of a specific sequence of weighting coefficients we use another sequence of coefficients from the same subset, the result of the operations performed by the neural network will remain unchanged. The corresponding theorem is formulated and proved. An example of a neuron with three binary inputs and a binary output is considered; It is shown that there are a total of 14 different choices for its weights. It has been established that the description of the functioning of a neuron of this type can be reduced to well-defined logical operations. The question of the possibility of applying the obtained results to describe analogues of neural networks arising in systems of a social nature is discussed.

ГРНТИ 44.31.29

**О. М. Талипов¹, А. Н. Бергузинов²,
Е. В. Оришевская³, И. С. Базарбаев⁴**

¹доктор PhD, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²доктор PhD, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³ст. преподаватель, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан

e-mail: talipov1980@mail.ru

ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ РАБОТУ

В данной статье рассмотрен принцип работы электрофильтров. Также рассмотрены конструкции и классификация электрофильтров. Факторы, влияющие на работу электрофильтров. Описаны достоинства современных электрофильтров.

Ключевые слова: золоулавливающие установки, электрофильтр, уголь.

ВВЕДЕНИЕ

Уголь более всего используется при производстве электроэнергии: около 40 % производимой в мире электроэнергии вырабатывается путем сжигания угля, но уголь зачастую считают экологически неприемлемым топливом, поскольку его отрицательное воздействие на окружающую среду превосходит все стратегические и экономические преимущества его использования.

Основными потребителями продукции угольной промышленности внутри республики являются тепловые электростанции. На угольных ТЭС производится более 70 % всего объема вырабатываемой в республике электроэнергии. К 2020 году планируется довести мощности угольных электростанций Казахстана до 16,35 МВт [1]. Однако перспективы увеличения использования угля омрачаются соображениями экологического характера, связанными с негативными последствиями его использования на окружающую среду, в первую очередь, на атмосферный воздух.

Сжигание котлами электростанций твердого топлива требует производить очистку дымовых газов от золы. В связи с увеличением доли твердого топлива в структуре топливного баланса, постоянном ужесточении норм выбросов, на большинстве электростанций имеются серьезные проблемы по обеспечению этих норм.

Сложность решения поставленных задач требует серьезного внимания к реконструкции и модернизации установленного парка золоулавливающих установок.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Золоулавливающие установки делятся на:

1) механические (сухие; инерционные) в которых твердые частицы отделяются от потока газов под действием центробежных сил и сил тяжести (циклоны, мультициклоны, батарейные циклоны); работающие под действием инерционных сил и сил тяжести (жалюзийные золоуловители, пылеосадительные камеры).

2) Мокрые золоуловители отделение твердых частиц от газа в которых осуществляется за счет промывки газа или орошения водой (скруббер).

3) Тканевые (рукавные) отделение твердых частиц от потока газов в них осуществляется за счет фильтрации запыленного потока через фильтрующий элемент (стеклоткань).

4) Комбинированные

5) Электрофильтры – это устройства в которых отделение твердых частиц от потока газов осуществляется за счет осаждения заряженных в электрофильтре твердых частиц на поверхности осадительных электродах под действием электрических сил.

Достоинствами таких золоуловителей является: высокая степень очистки (до 99 ÷ 99,5 %); низкое гидравлическое сопротивление (скорость ~ 2 м/с → 20 мм.вод.ст.); независимость степени очистки от фракционного состава золы; слабая зависимость от нагрузки.

Конструкция и классификация электрофильтров [2]

1) В зависимости от вида уловленного продукта электрофильтры разделяют: сухие – применяются для улавливания сухих аэрозолей; мокрые – применяются для улавливания капелек кислот, щелочей, смол и т.п.

2) В зависимости от направления движения газов в электрофильтре: вертикальные; горизонтальные.

3) По форме осадительного электрода: трубчатые; пластинчатые.

4) В зависимости от количества электрических зон: однозонные – в них зарядка и осаждение частиц производится в одном электростатическом поле; двухзонные – зарядка частиц производится в одном поле, а осаждение в другом.

5) По количеству электростатических полей, которые последовательно проходят газы: однополюсные; двухполюсные; трехполюсные; четырехполюсные.

6) В зависимости от числа корпусов электрофильтры разделяют: односекционные электрофильтры; двухсекционные электрофильтры.

Электрические золоуловители для очистки дымовых газов от золы применяют в котельных агрегатах средней и большой паропроизводительности. Отечественной промышленностью выпускаются пластинчатые электрические золоуловители двух видов: с вертикальным и горизонтальным потоком газов.

Уходящие дымовые газы проходят по трубе электрического золоуловителя (рис. 1), в которой помещен провод коронирующего электрода, присоединенного к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Сама труба присоединяется к положительному полюсу. Уходящие газы, проходя около электродов, попадают в электромагнитное поле, при этом одни пылинки приобретают свойства положительно заряженного тела, другие – отрицательного. Пылинки, заряженные положительно, направляются к коронирующему электроду, а заряженные отрицательно – к поверхности трубы.

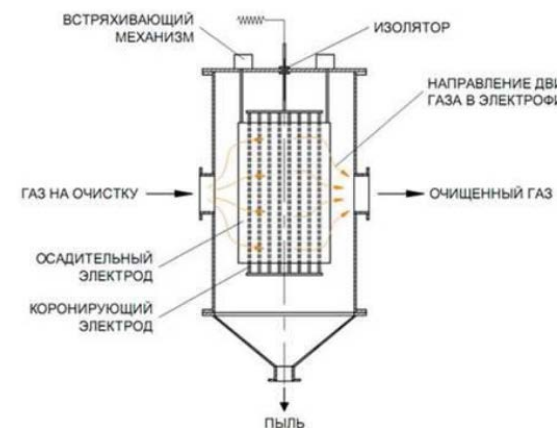


Рисунок 1 – Горизонтальный пластинчатый электрофильтр

Слой золы, постепенно нарастая на электродах, под действием силы тяжести частично осыпается, а оставшийся удаляется путем автоматического встряхивания электродов ударами специальных устройств (молотков). Опавшая зола собирается в конические бункера, откуда ссыпается в систему золоудаления.

Напряжение постоянного тока принимается до 80 кВ, КПД составляет 90–98 %. Если требуется особенно тщательная очистка дымовых газов,

применяют комбинированные золоуловители, в которых первоначальная, грубая очистка газов осуществляется в жалюзийном или батарейном циклоне, а окончательная, тонкая – в электрофильтре. Степень очистки в такой установке может достигать 98–99 %.

Факторы, влияющие на работу электрофильтров.

На работу электрофильтра [3] оказывает влияние множество факторов. К основным факторам, влияющим на работу электрофильтра, следует причислить:

- физико-химические свойства пылегазового потока;
- внешние факторы: неравномерность распределения пылегазового; потока по активному сечению электрофильтра; работа высоковольтных источников питания и управления; работа приводов встряхивания электродов; работа системы сбора и транспортировки уловленной пыли; соответствие теплоизоляции электрофильтра техническим условиям эксплуатации;
- внутренние факторы (состояние внутреннего механического оборудования электрофильтра): центровка электродной системы; состояние изоляторов; работоспособность механизмов регенерации электродной системы; конструктивные особенности неактивных и полуактивных зон электрофильтра; конструктивные свойства корпусов электрофильтров.

Остановимся подробно на некоторых из перечисленных выше факторов.

Физико-химические свойства пылегазового потока

Эффективная очистка в электрофильтрах достигается при правильном учете параметров пылегазового потока, подлежащего очистке. Принимать во внимание следует такие параметры, как:

- УЭС пыли (удельное электрическое сопротивление пыли);
- дисперсный состав улавливаемых взвесей;
- адгезионные свойства пыли;
- влагосодержание;
- кислотная и водная точка росы;
- входная запыленность.

Приведенные параметры являются основой исходных данных для формирования технического задания на подбор электрофильтра, их достоверность является необходимым условием для правильного выбора аппарата.

Неравномерность распределения пылегазового потока по активному сечению электрофильтра. Значимое воздействие на величину остаточной запыленности оказывает конструкция системы газораспределения и газовых трактов.

Электрофильтр имеет незначительное гидравлическое сопротивление, это приводит к необходимости особенно тщательного подходить к

конструированию пылегазовых трактов на входе и выходе электрофильтра и, собственно, самой системы газораспределения.

Особенностью конструкции электрофильтра является наличие большого количества газовых каналов электродной системы, которые создают направленное течение газового потока в этих каналах, исключая возможность поперечного перераспределения газового потока в активной зоне электрофильтра. Наличие недопустимой неравномерности пылегазового потока приводит к существенному снижению эффективности работы первых электрических полей (работа поля по наиболее нагруженному межэлектродному промежутку).

Переход от сечения газового тракта к активному сечению электрофильтра осуществляется с помощью диффузора, в котором размещаются газораспределительные элементы.

После электрофильтра устанавливается конфузор, обеспечивающий требуемый переход от активного сечения электрофильтра к сечению газового тракта.

Конструкция конфузора также существенно влияет на величину остаточной эмиссии, т.к. должна обеспечивать эффективную работу последнего поля электрофильтра без искажения с требуемой величиной неравномерности и исключением возможности уноса уловленной пыли.

Работа системы сбора и транспортировки уловленной пыли. Вопросам удаления уловленной пыли из электрофильтров следует уделять особое внимание, т.к. несвоевременное удаление пыли из бункеров электрофильтра или ее долгое нахождение в них может быть причиной существенного нарушения работы электрофильтра. Это приводит к: увеличению выноса уловленной пыли из бункеров электрофильтра;

- короткому замыканию и отключению полей электрофильтра
- при достижении пылью электродов;
- недопустимому повышению нагрузки на постаменты и фундаменты электрофильтра.

Кроме этого, эффективность работы электрофильтра находится в зависимости от величины подсосов через систему удаления уловленной пыли из бункеров электрофильтров (наличие подсосов приводит к увеличению объема выноса пыли из бункеров электрофильтра в обход электродной системы).

Утечка тока или различные виды разрушений приводят к пробоям и выходу из строя электрического поля электрофильтра.

Для сохранения изоляторов наработан большой арсенал технических решений, которые позволяют обеспечить эксплуатационную надежность электрофильтра. Среди этих решений:

– конструктивные элементы, позволяющие уменьшить попадание пыли на поверхность изоляторов;
 – обогрев изоляторов;
 – поддув воздуха в изоляторные коробки.
 Конструктивные особенности корпусов электрофильтров
 Определение конструктивных характеристик электрофильтра – залог успешной эксплуатации аппарата в будущем.

ВЫВОДЫ

Преимущества электрофильтров [4]: возможность самой высокой степени очистки газов (до 99,9 %), низкие затраты энергии (до 0,8 кВт на 1000 м³ газа), очистка газа может проводиться даже при высоких температурах, процесс очистки может быть полностью автоматизирован.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 ГОСТ Р 51707-2001. Электрофильтры. Требования безопасности и методы испытаний. Введ. 29.01.2001. М: Изд-во стандартов, 2001.

2 Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

3 **Санаев, Ю. И.** Электрофильтры: монтаж, наладка, испытание, эксплуатация./Обзорная информация. Серия ХМ-14. – М., «ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ», 1984.

4 **Николаев, М. Ю., Есимов, А. М., Леонов, В. В.** Электрофильтры: принцип работы и основные достоинства // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. ХLI междунар. науч.-практ. конф. № 12(37). – Новосибирск : СибАК, 2014.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

О. М. Талипов¹, А. Н. Бергузин², Е. В. Оришевская³, И. С. Базарбаев⁴

Электр сүзгілердің жұмысына әсер ететін негізгі артықшылықтары мен факторлары

^{1,2,3,4}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
 Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
 Материал 12.06.19 баспаға түсті.

О. М. Talipov¹, A. N. Berguzinov², E. V. Orishevskaya³, I. S. Bazarbaev⁴

The main advantages and factors affecting the operation of electrostatic precipitators

^{1,2,3,4}S. Toraighyrov Pavlodar State University,
 Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Бұл мақалада электр сүзгілердің жұмыс істеу принципі қарастырылған. Сонымен қатар электр сүзгілердің құрылымы мен жіктелуі қарастырылған. Электр сүзгілердің жұмысына әсер ететін факторлар. Қазіргі заманғы электр сүзгілердің артықшылықтары сипатталған.

This article describes the principle of operation of electric filters. Also, considered the design and classification of electrical filters. Factors affecting the operation of electric filters. The advantages of modern electric filters are described.

А. Б. Уахитова¹, А. Ж. Жабекова²

¹т.к.ғ., қауымд. профессоры, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы;

²магистрант, Энергетикалық факультеті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан қ., 010011, Қазақстан Республикасы

e-mail: ¹a.uakhitova@mail.ru; ²zhabekova9696@mail.ru

**ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫН
БОЛЖАУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ**

Бұл мақалада электр тұтынуды болжау мәселелері қарастырылады. Жұмыста қазіргі уақытта өндірісте қолданылатын электр тұтынуды болжаудың негізгі әдістерінің жіктелуі ұсынылған. Электр тұтынуды болжаудың классикалық және зияткерлік әдістерін талдау келтіріледі. Жүктемені болжаудың қазіргі заманғы әдістерін шолу кезінде осы әдістердің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетілген.

Кілтті сөздер: электр тұтынуды болжау, болжау әдістері, жүктеме, жасанды нейрондық желілер.

КІРІСПЕ

Электр энергиясын тұтынуды болжау өнеркәсіптік кәсіпорындардың жұмысында өте маңызды аспект болып табылады. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың әрқайсысы өзі үшін қажетті қуатты анықтауы тиіс, ол қатаң ұстануға тиіс, өйткені ауытқулар айыппұлмен қорқытады.

Қазіргі уақытта болжаудың шамамен 150 әдісі бар, бірақ іс жүзінде 20-30-ға жуық негізгі әдістер қолданылады. Болжамдау әдістерін жіктеу үш негізгі белгі бойынша жүзеге асырылады: әдістерді формалдау дәрежесі бойынша; жалпы әрекет принципі бойынша; болжамды ақпаратты алу тәсілі бойынша [1].

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың көпшілігінде электр тұтынуды болжау сараптамалық бағалау әдісі негізінде жүргізіледі, ол көп жағдайда болжаудың талап етілетін дәлдігін қамтамасыз ете алмайды. Электр тұтынуды болжау энергия шаруашылығын басқару кезінде қалыпты жұмыс режимін жоспарлау үшін бастапқы ақпаратты береді. Электр энергиясын тұтынуды нақты болжау тұтынушылар арасында жүктемелердің оңтайлы үлестірілуін қамтамасыз етеді. Электр жүктемелерін дәстүрлі әдіспен болжау міндеттерін шешу екі

кезеңнен тұрады: математикалық модель құру, оның көмегімен өткен уақыт кезеңіндегі жүктемелер туралы деректер өңделеді және алынған модель базасында болжам алынады [2].

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Мерзімдер тұрғысынан алғанда, жүктемені болжау төрт санатқа бөлінеді: бір жылдан астам алдын ала ұзақ мерзімді болжамдау; бір айдан бір жылға дейін алдын ала орта мерзімді болжамдау; бір тәуліктен бірнеше аптаға дейін алдын ала жүкті қысқа мерзімді болжамдау; жедел болжамдау – бір сағаттан үш сағатқа дейін және ағымдағы тәуліктің соңына дейін.

Бірінші кезеңде электр тұтынудың болжамды кестесіне әсер ететін метеорологиялық факторларды есепке алу жүргізіледі. Бұл факторлардың ең маңыздысы ауа температурасы, жарық күнінің ұзақтығы және жауын-шашын болып табылады. Болжамның екінші кезеңі әлеуметтік-экономикалық факторларды электр тұтынудың болжамды кестесінде есепке алу болып табылады. Болжамның үшінші кезеңі нарықтық орта факторларын есепке алу болып табылады. Ол метеорологиялық және әлеуметтік-экономикалық факторлар ескерілген болжамдық кесте негізінде жүргізіледі [3].

1 Электр тұтынуды болжаудың классикалық әдістері

Мұндай баламалардың үлкен санына қарамастан, электр тұтынудың классикалық әдістерінің арасында базалық немесе тұрақты және ауа райына тәуелді құрамдастарға жүктемені бөлетін сызықтық регрессиялық модельдер мен модельдер кеңінен таралған. Бұл модельдер жұмыс күнінен шығу күндеріне көшу кезеңдерінде және керісінше тұрақты емес күндері жүктемені неғұрлым дәл болжауға мүмкіндік беруімен тартымды және электр энергетикалық жүйеде бар ретроспективті ақпаратқа бағдарланған.

Қандай математикалық аппарат қолданылады және қандай мақсатты бағыт, жүктемені болжаудың классикалық тәсілдерін үш түрге бөлуге болады: аналитикалық болжау әдістері; статистикалық болжау әдістері; ықтималдықты болжау әдістері [3].

Аналитикалық әдістер

Анықталған заңдылықтар негізінде аналитикалық әдістер теңдеулер жүйесімен көрсетілген математикалық модель құруға мүмкіндік береді. Бұл модель бойынша болжамды фон факторларының қандай да бір үйлесімі кезінде зерттелетін құбылыстың болжамды мәндері есептеледі. Аналитикалық әдістерге туынды, қосу әдісі, операторлық әдіс және т. б. жатады.

Статистикалық әдістер

Статистикалық әдістер көпше сызықты және сызықты емес регрессияны, сондай-ақ сызықтық және экспоненциалды тегістелген авторегрессиялық модельдер негізінде құрылған әдістерді қамтиды.

Болжамдаудың регрессиялық әдістері регрессиялық талдауды (көптеген регрессияны) қолдануға негізделген және кеңінен қолданылатын статистикалық әдістердің бірі болып табылады [3].

Қазіргі уақытта көп өлшемді регрессия моделінің параметрлерін бағалаудың келесі әдістері кеңінен қолданылады: параметрлердің байесовтік бағалау әдісі; максималды шындыққа ұқсас әдіс; ең аз квадраттар әдісі.

Авторегрессиялық модель-уақытша қатардың моделі, онда қазіргі уақытта уақытша қатардың мәндері осы қатардың алдыңғы мәндеріне сызықтық тәуелді. Қатарларды тегістеудің ең қарапайым әдісі – жылжымалы орташа. Авторегрессия моделі-жылжымалы орта-статистикадағы тұрақты уақытша қатарларды талдау және болжау үшін пайдаланылатын математикалық модельдердің бірі.

Экспоненциалды тегістеу, жылжымалы орта әдісі сияқты, болжау үшін уақытша қатардың өткен мәндерін пайдаланады. Экспоненциалды тегістеу әдісінің мәні уақытша қатардың салмағы экспоненциалды заңға бағынатын өлшенген жылжымалы орта көмегімен тегістеледі. Экспоненциалды тегістеу әдісі ағымдағы қадамнан ақпаратты пайдалана отырып, алдыңғы қадамға есептелген мәндерді жаңарту арқылы тегістелген қатардың мәнін есептейді. Бұл әдіс жеткілікті робастық қасиеттерге ие, және болжамдау үшін неғұрлым күрделі үлгілерді қолдану модельдің артық сезімталдығына және болжаудың тұрақсыздығына алып келетін жағдайларда оң нәтиже береді.

Бұл әдістің кемшіліктері мыналар болып табылады: қандай да бір әсер ететін фактордың әрекет моделінде тікелей есепке алудың мүмкін еместігі; сәйкестендіру формулаларының күрделенуінен және аналитикалық түрде шығарылған ұқсас формулалардың болмауынан төмен тәртіптегі болжамдық полиномдарды пайдалану [4].

Ықтимал әдістер

Сонымен қатар, бұл процесс желілік және белгілі сипаттамалары бар гауссиялық сипатқа ие, ал кіріс ұйытқулары мен шуылдар бір – бірімен корреляцияланбайды [4].

2. Болжаудың зияткерлік әдістері

Кездейсоқ құрауыштың болуы салдарынан жасанды интеллектке негізделген жүктемені болжау үшін жаңа әдістер пайда болады.

Болжаудың зияткерлік жүйелерінің негізгі артықшылықтары: желі параметрлерін реттегеннен кейін толық емес және бұрмаланған деректер болған кезде есептің дұрыс шешімін алу қабілеті; болжамдау сапасына әсер ететін қосымша факторлардың көп санын есепке алу мүмкіндігі; олар кедергілерге төзімді, жоғары жылдам әрекет етеді. Бұл әдістердің негізгі кемшілігі оқыту қажеттілігі болып табылады. Жүктемені болжаудың зияткерлік әдістерінің шолулары оларды қолданудағы табыстармен қатар,

бұл әдістер жүктемені болжаудың ресми техникасы ретінде танылғанға дейін әлі де көп жұмыс істеу керек [3].

Жүктемені болжаудың зияткерлік әдістерінің ішінде сараптамалық жүйелер, жасанды нейрондық желілер, жасушалық автоматтар, хаос теориясына негізделген әдістер, аргументтерді топтық есепке алу әдістері, тірек векторлар және аралас әдістер бөлінеді.

Сараптамалық жүйелер

Түріне байланысты пайдаланылатын модельдер төменгі деңгейде басқарудың интеллектуалды жүйелері бөлінеді екі сынып: зияткерлік логикалық басқару жүйелері және зияткерлік реттегіштер. Бірінші сынып жүйелерінде атқарушы деңгейде логикалық модельдер, ал екінші сынып жүйелерінде – автоматты басқарудың дәстүрлі теориясының модельдері қолданылады.

Болжауда қолданылатын сараптамалық бағалау әдістері жеке және ұжымдық болып бөлінеді. Ең жиі қолданылатын болжамды қалыптастырудың келесі екі әдісі болып табылады: сұхбат және сараптамалық бағалау. Қарастырылып отырған әдістердің негізгі артықшылықтары сарапшының жеке қабілеттерін барынша пайдалану мүмкіндігі және жеке қызметкерге көрсетілетін психологиялық қысымның болмашыдығы болып табылады.

Ұжымдық сараптамалық бағалау әдістері болжау объектісінің даму перспективалары туралы сарапшылардың ұжымдық пікірін анықтау қағидаттарына негізделеді. Бұл әдіс кемшілігі бар, өйткені сарапшылар тобы өз пікірлерінде негізінен ымыраға келу логикасын басшылыққа алады.

Жасанды нейрондық желілер

Жасанды нейрондық желілер-бұл барлық буындардың ақпаратты параллель өңдеуге негізделген құрылғылар. Олар білім алуға және жинақталған білімді жинақтауға қабілетті. Нейрондық желілерге жасанды интеллект белгілері тән.

Жасанды нейрондық желінің шығуы оның кіруінің сызықтық немесе сызықты емес математикалық функциялары болып табылады. Кіріс басқа желілік элементтердің шығуы болуы мүмкін. Нейрондық желілер технологиясының артықшылығы-адам миының жұмысын ұқсаста алатын зияткерлік өңдеу. Оқыту процесі салыстырмалы түрде баяу болып табылады және бұл нақты және болжамды деректер арасындағы ұқсастыққа кепілдік бермейді [3].

Жүктемені болжау міндеттерін шешу үшін тікелей тарату желілері, өзін-өзі ұйымдастыру, радиалды-базистік және вейвлет-нейрондық желілер қолданылады. Электр жүктемесін болжау үшін жасанды нейрондық желінің ең танымал архитектурасы тікелей тарату сәулеті болып табылады.

Өзін – өзі ұйымдастырған нейрондық желілер-бұл визуализация және кластеризация міндеттерін орындайтын мұғалімсіз оқытатын желілер.

Кохоненнің нейрондық желілерінің (карталарының) бір нұсқасы болып табылады.

Барлық алгоритмдердің негізгі идеясы өзін-өзі ұйымдастыратын нейрондық желілер ұсынылатын бейнелер жүйесі негізінде деректердің ықтималдық моделін құру болып табылады. Оқыту барысында өзін-өзі ұйымдастыратын нейрондық желілер кластарының алгоритмдері әр шыңы ықтималдылық тығыздығының жергілікті максимум аймағында жатқан, ал қабырғалары бір класқа жататын шыңдарды қосатын бағандарды салады.

Радиалды-базистік желі-радиалды базистік функцияларды активтендіру функциясы ретінде пайдаланатын жасанды нейрондық желі. Радиалды-базистік желі бір жасырын қабаты және желілік шығу нейрондары бар тіркелген құрылымы бар.

Радиалды-базистік желі көп қабатты тікелей тарату желілері мен өзін-өзі ұйымдастырған нейросеталардың алдында бірқатар артықшылықтарға ие. Біріншіден, олар тек бір аралық қабаттың көмегімен еркін сызықты емес функцияны модельдейді, сол арқылы қабаттар саны туралы мәселені шешу қажеттігінен арылтады. Екіншіден, шығу қабатындағы сызықтық комбинация параметрлерін кері тарату алгоритмін қолдану арқылы оқыту кезінде кедергі келтіретін жергілікті минимумдармен тез жұмыс істейтін және қиындықтарды бастан өткермейтін жақсы белгілі желілік оңтайландыру әдістері арқылы толық оңтайландыруға болады.

Вейвлет-нейрожелілер көп қабатты және өздігінен ұйымдастырылған нейрондық желілерге қарағанда жоғары дәлдікке ие. Радиалды-базистік нейросеталармен салыстырғанда артықшылықтары да, кемшіліктері де бар. Бұл, біріншіден, болжамның орташа қателігін есептеудің үлкен орташаланған қателігі, екіншіден, болжамның барлық кезеңіндегі ең жоғары қателігі [3].

Тақ логика тізбектерді цифрлық жобалау үшін қолданылатын кәдімгі булевалық логиканы жалпылау болып табылады. Тақ сан – бұл еркін табиғат элементтерінің жиынтығы бар көптеген. Болжаудың анық емес әдістері тек сарапшылардың пайымдаулары мен пайымдауларын имитациялайды, олар дәл математикалық модельді анықтауға арналмаған.

Эволюциялық алгоритмдерге негізделген әдістер арасында генетикалық алгоритмдерді, Рой интеллект пен жасанды иммундық жүйелерді пайдалана отырып құрылған әдістер белгілі. Эволюциялық алгоритмдерді және жасанды нейрондық желілерді бірлесіп пайдалану жасанды нейрондық желілерді жеке және бір мезгілде баптау және оқыту міндеттерін шешуге мүмкіндік береді. Мұндай синтезделген тәсілдің артықшылықтарының бірі классификацияның, аппроксимацияның, басқарудың және модельдеудің әр түрлі міндеттерін шешуге көп жағдайда біріздендірілген тәсіл болып табылады. Генетикалық алгоритмге негізделген әдістер жаһандық оңтайландыру қабілеті бар.

Жалпы генетикалық алгоритм болжамдардың дәлдігін жақсарту үшін, жергілікті қателік минимумына түсуді жеңу мақсатында жасанды нейрондық желілер таразыларды оңтайландыру үшін қолданылады. Генетикалық алгоритмдердің маңызды кемшілігі түсіну және бағдарламалық іске асыру үшін қиындығы болып табылады. Алайда, адаптивті рельефтердің жаһандық минимумдарын іздеудегі тиімділік артықшылығы болып табылады, өйткені оларда нейрондық желілер параметрлерінің рұқсат етілген мәндерінің үлкен аймақтары зерттеледі.

Генетикалық алгоритмдердің кемшіліктерін жою үшін жүктемені болжау мақсатында Рой интеллект негізінде нейрондық желінің архитектурасы белгілі. Рой интеллект-бұл инженерлік оңтайландыру құралы ретінде әзірленген роя бөлшектерінің арасындағы өзара іс-қимыл мен бәсекелестіктің қалыптасуына негізделген жаңа эвристикалық әдіс.

Жасанды иммундық желілер-бұл адамның иммундық жүйесінің кейбір функцияларын имитациялайтын математикалық құрылымды білдіретін және бейтаныс жағдайда шешім қабылдау және бар уақытша қатарлар негізінде оқыту, болжау қабілеті сияқты қасиеттерге ие деректерді өңдеу және талдау үшін бейімделген жүйелер. Жасанды иммундық желілер алдын ала белгілі модельді қажет етпейді, ал оны алынған ақпараттың негізінде уақытша қатар түрінде салады. Бұл жүйе жүктемені болжау сияқты нашар алгоритмдеу есептерін шешу үшін өте қолайлы [4].

Топ автоматтары

Ұялы автомат уақыт пен кеңістік дискретті физикалық процестің математикалық моделі болып табылады, ал барлық тәуелді шамалар мәндердің соңғы жиынтығын қабылдай алады. Ұялы автомат локалдылық қасиетіне ие, яғни әрбір уақытша қадамда кейбір нүктенің жаңа күйі оның шағын төңірегіндегі нүктелердің жай-күйіне ғана байланысты. Белгілі жасушалық автоматтар үлкен масштабтарда және толық торларда біртекті емес динамикалық жүйелерді модельдеу үшін жеткілікті жылдамдыққа ие емес.

Аргументтерді топтық есепке алу әдістері

Қазіргі уақытта болжау міндеттері үшін аргументтерді топтық есепке алу әдісі деп аталатын үлкен танымалдыққа ие болады.

Әдіс зерттелетін объектінің күрделілігіне барабар, күрделілігі жоғары оңтайлы модельдердің синтезін жүзеге асырады. Мысалы, Алгоритмдер жаппай селекция схемасы бойынша құрылған аргументтерді топтық есепке алу әдісі объектінің ықтимал функционалды сипаттамаларын іріктеуді жүзеге асырады. Әр түрлі кірістік және аралық айнымалылардың комбинациясы қарастырылады және әр комбинация үшін модель құрылады, сонымен қатар селекция қатарын құру кезінде ең тұрақты айнымалылар қолданылады [5].

Тірек векторлар әдістері

Тірек векторлар әдісі-бұл Машиналық оқыту әдісі, оның мақсаты екі сыныптың біріне кіретін деректер жиынтығын жіктеуге әрекет ету болып табылады. Тірек векторлар әдісінің кемшілігі бастапқы деректердегі шуға қатысты тұрақсыздығы болып табылады.

Ақпараттық үңгілеу әдісі

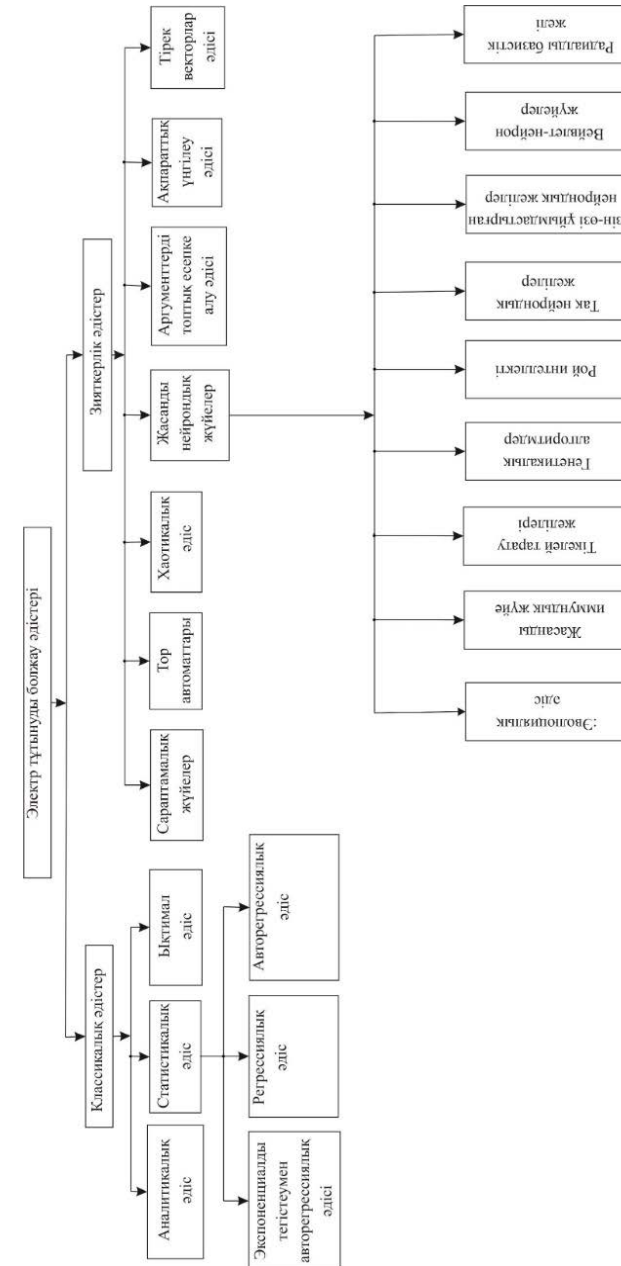
Ақпараттық үңгілеу-қолданбалы статистикаға сүйене отырып, эмпирикалық заңдылықтарды іздеу процесінде өзінің әлеуетін ашатын, бейнелерді тану, деректер базасының теориясы мен жасанды интеллекті.

Жүктемелерді болжау үшін ақпараттық үңгілеу әдісін пайдалану регрессияны және жасанды нейронды желіні қамтитын гибриді модельді қолдануға негізделген. Осы әдіске сәйкес жүктемені өзгерту диапазоны бірнеше класқа бөлінеді және сыныптау ережелеріне сәйкес болжанатын жүктеме қай класқа тиесілі екені анықталады. Содан кейін көп қабатты персептрон әр сыныпты оқыту үшін қолданылады.

Хаотикалық әдістер

Эмбедология деп аталатын, өлшемдік теориясының, ақпарат теориясының, топологияның, дифференциалды динамиканың және динамикалық жүйелердің теориясының элементтерін біріктіретін хаос теориясының арнайы бөлімі фазалық портреттерді қайта құрудың теориялық негізі болып табылады [4, 5].

Энергия тұтынуды болжаудың қолданылатын әдістеріне жүргізілген талдауға сәйкес жұмыста болжаудың негізгі әдістерінің жіктелуі жасалды (1-сурет).



Сурет 1 – Электр тұтынуды болжау әдістері

ҚОРЫТЫНДЫ

Кәсіпорындарда қолданылатын электр тұтынуды болжау әдістерінің жіктелуі ұсынылған. Тарату желілеріндегі жүктемелерді болжаудың қазіргі заманғы әдістеріне шолу келесі тұжырымды жасауға мүмкіндік береді: бір әмбебап, барлық талаптарды қанағаттандыратын, әдістің кемшіліктері жоқ, болжау жоқ. Әрбір тәсіл және әрбір әдіс өзінің артықшылықтары, кемшіліктері, қолдану шекаралары бар.

Аналитикалық әдістердің шектеулеріне аналитикалық өрнектің әрбір параметрі үшін жеке таңдау және есептеу қажеттілігімен байланысты есептеулердің еңбек сыйымдылығы мен күрделілігі, сондай-ақ модельді дұрыс таңдау кезінде болжау нәтижелерінің дәлсіздігі жатады.

Тарату желілеріндегі жүктемелерді болжау міндеттерін тиімді шешу үшін дәстүрлі және зияткерлік әдістердің әртүрлі комбинациясын пайдалану қажет.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Орлов, Д. В., Таран, А. В., Зиновьев, Е. В., Мумладзе, Д. Г. Методы прогнозирования электропотребления // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) Технические наук. № 4 (13), 2015. – С. 168–171.

2 Доманов, В. И., Билалова, А. И. Анализ прогнозирования энергопотребления с различными информационными базами. Ульяновский государственный технический университет // Конференция «Современные наукоемкие инновационные технологии», 2–4 декабря 2014 г. – С. 535–537.

3 Щелкалин, В. Н. Трендовый и декомпозиционный подходы прогнозирования процессов потребления электроэнергии // В. Н. Щелкалин, А. Д. Тевяшев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/4. – С. 30–37.

4 Соловьева, И. А. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды / И. А. Соловьева, А. П. Дзюба // Научный диалог. – 2013. – № 7(19) : Экономика. Право. Политология. – С. 97–113.

5 Шумилова, Г. П. Прогнозирование нагрузки ЭЭС на базе новых информационных технологий / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева // Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами: Сб. научн. тр. – Екатеринбург : УрО РАН, 2002. – С. 127–156.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

A. B. Uakhitova¹, A. Zh. Zhabekova²

Анализ современных методов прогнозирования электропотребления

^{1,2}Энергетический факультет,

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

г. Нур-Султан, 010011, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

A. B. Uakhitova¹, A. Zh. Zhabekova²

Analysis of modern methods of power consumption forecasting

^{1,2}Energy Faculty,

S. Seifullun Kazakh Agro Technical University,

Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

В данной статье рассматриваются вопросы по прогнозированию электропотребления. В работе представлена классификация основных методов прогнозирования электропотребления, применяемых в настоящее время в производстве. Приводится анализ классических и интеллектуальных методов прогнозирования электропотребления. При обзоре современных методов прогнозирования нагрузок указаны основные достоинства и недостатки данных методов.

The questions related to power consumption forecasting presented in this paper. The classification of the main methods of electricity consumption forecasting currently used at the enterprises are introduced in this article. The analysis of classical and intellectual methods of energy consumption forecasting is given. During the review of modern methods for forecasting loads the main advantages and disadvantages of these methods are identified.

Д. С. Уразалимова¹, М. М. Нурманов²

¹ст. преподаватель, Энергетический факультет, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²магистрант, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: ¹dariya_u@mail.ru; ²muha_2bus@mail.ru

РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

В статье приведены основные требования к станам и непрерывным волочильным станам. Были сделаны выводы, что качество труб во многом зависит от технологической смазки, геометрии калибров, точности учета при их изготовлении изменения раствора калибра под нагрузкой в стане, от отклонения оси калибров от оси прокатки и др. Исследования в Казахстане проведены с целью промышленного применения процесса для изготовления стальных труб.

Ключевые слова: агрегат, оправка, калибр, опорные валки, прессованные заготовки.

ВВЕДЕНИЕ

Высокая производительность непрерывных процессов и другие их преимущества являются основанием для изготовления стальных труб, особенно для изготовления крупных партий труб из углеродистых сталей одного или близких типоразмеров, потребность в которых возрастает.

Работа над созданием высокопроизводительных непрерывных процессов получения точных труб малого диаметра началась еще начале шестидесятых годов. В Казахстане строились предприятия тяжелой индустрии. В соответствии с нарастающим участием республики в общесоюзном разделении труда получили ускоренное развитие черная и цветная металлургия, нефтяная и газовая, химическая и нефтехимическая, появился ряд новых отраслей промышленности по производству титана, магния, глинозема, чугуна, кокса, синтетического каучука, подъемных кранов, электродвигателей, новых волочильных станков и кузнечно-прессовых машин, асбеста и др.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В Казахстане сформулированы основные требования к станам и непрерывным волочильным станам. Одной из первых следует отметить исследование по непрерывной прокатке конденсаторных труб из медных и латунных прессованных заготовок. Был реконструирован непрерывный проволочный стан, создано устройство для удержания и регулирования положения неподвижной оправки, мерилось осевое усилие на оправку. Использовалась та же латунная заготовка, что и при прокатке на длинной оправке. Исследования в Казахстане подтвердили жизнеспособность указанного способа. На этом же стане были прокатаны стальные трубы диаметром 10 мм толщиной стенки 1 мм из стали 20 из заготовки 20 мм с той же толщиной стенки. Задачей данных экспериментов являлось осуществить значительное редуцирование труб без увеличения толщины стенки. Компенсировать значительное утолщение стенки при холодном редуцировании предполагалось обжатием последней на ступенчатых неподвижных оправках. Обжатие стенки происходило за счет того, что в каждом калибре кольцевой зазор между оправкой и валками сохранялся постоянным от первого до последнего – двенадцатого калибра. Во время прокатки производились замеры основных технологических параметров.

Необходимо отметить следующие особенности нового технологического процесса и оборудования:

- при непрерывной прокатке труба одновременно деформируется не более, чем в трёх клетях стана;
- при шаге клетей 1400мм возникают значительные продольные усилия подпора в трубе между клетями, которые приводят к увеличению нагрузок;
- применение трёхвалковых регулируемых клетей с опорными валками для увеличения жесткости;
- процесс промышленно освоен для изготовления труб из цветных металлов. Успешная эксплуатация стана для прокатки труб из цветных металлов и сплавов и положительные результаты лабораторных исследований позволили перейти к разработке непрерывного стана для прокатки стальных труб. Использование одного такого стана смогло бы заменить 10–15 станков ХПТ аналогичного сортамента. Были сделаны выводы, что качество труб во многом зависит от технологической смазки, геометрии калибров, точности учета при их изготовлении изменения раствора калибра под нагрузкой в стане, от отклонения оси калибров от оси прокатки и др. Проведенные работы подтвердили принципиальную возможность осуществления высокопроизводительного процесса непрерывной прокатки холоднодеформированных труб из углеродистых сталей и явились основой для создания первого опытного стана. Кроме того, были сделаны важные выводы о возможности одновременной деформации трубы во всех клетях

обжимного стана и прокатки в клетях с нерегулируемым раствором валков. Лабораторные условия оставили неразрешенными ряд важных вопросов, от которых в конечном счете зависит целесообразность промышленного использования новой технологии. К этим вопросам относятся прежде всего стабильность процесса, стойкость дорогостоящего инструмента, технологическая смазка, допустимые деформации по толщине стенки, максимальная длина прокатываемых труб, надежное извлечение оправки после прокатки. Исследования в Казахстане проведены с целью промышленного применения процесса для изготовления стальных труб.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили получить новые важные результаты:

– процесс возможен при одновременной деформации трубы во всех обжимных клетях стана;

– процесс прокатки возможен в клетях с нерегулируемым раствором валков;

В заключение отметим что, сочетание указанных непрерывных процессов прокатки обеспечивает:

а) высокую степень деформации, которая составляет до 65–70 % по толщине стенки и до 50 % по наружному диаметру при коэффициенте вытяжки до 5,0;

б) прокатку труб всего сортамента из заготовок одного – двух размеров по диаметру;

в) прокатку в непрерывном стане труб двух размеров по диаметру, что позволяет сократить число дополнительных клетей и простой при смене сортамента труб.

Таким образом впервые в Казахстане были созданы агрегаты непрерывной прокатки труб, позволяющие производить трубы в условиях массового производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Соколова, О. В.** Особенности процесса волочения труб на длинной оправке/ О. В. Соколова, Т. Ю. Комкова. Москва : Учебное пособие, 2013.

2 **Соколова, О. В.** Способы производства прецизионных труб/ О. В. Соколова, А. Е. Комков. – Москва : Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» №6, июнь 2011.

3 **Соколова, О. В.** Технология и оборудование производства труб волочением/ О. В. Соколова, А. А. Восканьянц, Т.Ю. Комкова. – Москва : Учебное пособие – М, 2013.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Д. С. Уразалимова¹, М. М. Нурманов²

Құбырларды үздіксіз прокаттау процесін дамыту

¹Энергетикалық факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

²Металлургия, машина жасау және көлік факультеті,

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

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

D. S. Urazalimova¹, M. M. Nurmanov²

Continuous pipe rolling process development

¹Faculty of Energy Engineering,

S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

²Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,

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

Material received on 12.06.19.

Мақалада орнақтарға және үздіксіз созатын орнақтарға қойылатын негізгі талаптар келтірілген. Құбырлардың сапасы көп жағдайда технологиялық майлауға, калибрлер геометриясына, оларды дайындау кезінде стандағы жүктемемен калибр ерітіндісінің өзгеруін есепке алу дәлдігіне, калибрлер осінің прокаттау осінен ауытқуына және т.б. байланысты қорытынды анықталды.

The article presents the basic requirements for mills and continuous drawing mills. It was concluded that the quality of the pipes depends on the technological lubrication, geometry of the gauges, the accuracy of accounting in their manufacture of changes in the caliber solution under load in the mill, the deviation of the axis of the gauges from the axis of rolling, etc. Studies in Kazakhstan conducted for the purpose of industrial application of the process for the manufacture of steel pipes.

**В. И. Фандюшин¹, А. В. Мануковский²,
С. И. Игонин³, А. Ж. Сарина⁴**

¹к.т.н., Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²к.т.н., Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³к.ф.-м.н., Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Республика Казахстан;

⁴магистр вычислительной техники и программирования, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

e-mail: ¹fan.vladimir@mail.ru; ²man-av@yandex.ru; ³igoninsi@mail.ru;

⁴assiya_prog@mail.ru

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА КОРРЕКЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

В данной статье предлагается способ модернизации типовой системы управления мощностью дуговой сталеплавильной печи путём снижения неравномерности распределения мощностей дуг по фазам печи при помощи компенсации различий сопротивлений фаз, что реализуется введением корректирующего сигнала в регулятор мощности. Особенностью метода является переход на цифровое управление с помощью микроконтроллера Ремиконт.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, контроллеры, дуговые сталеплавильные печи, экономия электроэнергии.

ВВЕДЕНИЕ

В декабре 2017 года в Казахстане утверждена программа «Цифровой Казахстан», в которой определено, пять основных направлений реализации данной программы. Первым направлением в этой программе значится «Цифровизация отраслей экономики», что подразумевает цифровизацию электроэнергетики и промышленности путём внедрение цифровых технологий на промышленных и энергетических предприятиях. Внедрение таких технологий обещает поднять эффективность экономики страны и повысить производительность труда в отрасли.

В Павлодарской области расположены большие промышленные предприятия и электроэнергетические предприятия. Крупными потребителями электроэнергии являются предприятия чёрной и цветной металлургии, где широко используются дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Такие печи потребляют огромное количество электроэнергии, например, электрическая мощность печи ёмкостью всего 6 тонн составляет один миллион ватт. Поэтому снижение потребления энергии такими печами хотя бы на несколько процентов, даёт значительный экономический эффект.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одной из проблем эксплуатации ДСП является несимметрия мощности электрических дуг, несмотря на то, что к печи подводится симметричное питающее напряжение и активное сопротивление всех трёх фаз печи одинаково. Это объясняется разной взаимоиндуктивностью фаз и несимметрией короткой сети. Естественно, что вторичный токоподвод печи не может быть выполнен абсолютно симметричным, поэтому и различным оказывается полное сопротивление фаз. Поэтому получается разница падений напряжения на дугах, от этого и мощности электрических дуг печи тоже получаются различными.

Также вызывает несимметрию и различие взаимоиндуктивностей трёх фаз токопровода. Это приводит к тому, что одна из дуг будет иметь большую мощность (её называют дикой фазой), а другая фаза будет иметь меньшую мощность (её называют мёртвая фаза). Хотя суммарная мощность печи не меняется и может показаться, что такая разница мощности дуг не на что не влияет, но на самом деле ухудшаются все параметры работы печи. Это связано с неравномерным выделением тепла внутри печи, что увеличивает время плавки. Кроме того, имеет место явление, при котором выжигается футеровка печи около «дикой» фазы.

Также необходимо сказать, что несимметричный режим работы таких сверхмощных потребителей электроэнергии неблагоприятно влияет на режим работы линий электроснабжения и работу остальных электроприёмников, подключённых к этой сети.

Ранее был предложен способ уменьшения несимметрии в дуговых электропечах[1]. В котором предлагалось использовать корректирующие сигналы, пропорциональные падению напряжения на соответствующих фазах вторичного токопровода. Естественно, что при разных токах в фазах печи будут и различные падения напряжения в соответствующих фазах, естественно также будет и при различии сопротивлений фаз. Поэтому было предложено использовать разницу сигналов пропорциональных току дуги и напряжению дуги, скорректированному относительно падения напряжения

в короткой сети, что позволит скомпенсировать различие сопротивлений фаз вторичного токоподвода с помощью регулятора мощности. Такое корректирующее устройство было разработано на дискретных аналоговых компонентах с жёстко фиксированной конфигурацией системы управления, что не позволяет реализовать иные алгоритмы управления, а также задавать и изменяться параметры непосредственно на месте эксплуатации. Поэтому предложено заменить аналоговое корректирующее устройство на микроконтроллер, что значительно расширит возможности системы автоматического регулирования (САР) мощностью ДСП.

Предложенная схема САР мощности с коррекцией несимметрии представлена на рисунке 1.

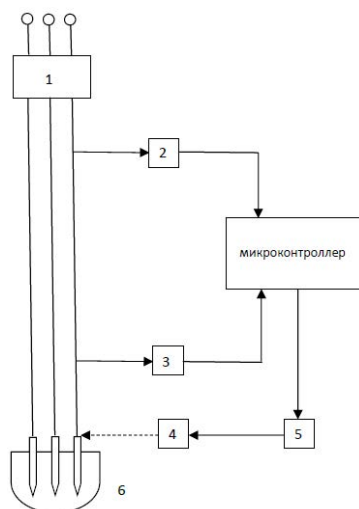


Рисунок 1 – Функциональная схема регулятора мощности для одной фазы печи

На схеме изображён печной трансформатор –1, датчик тока –2, датчик напряжения –3, исполнительный механизм –4, усилитель –5 и печь –6.

Микроконтроллер Ремиконт Р-130 является «сердцем» всей системы регулирования мощности. Это микропроцессорный контроллер, специально разработанный для применения в различных отраслях промышленности, давно выпускается в России. Положительным моментом использования данного контроллера является то, что для работы с ним не нужно знать программирование. Вместо использования какого-либо языка программирования надо просто извлечь из библиотеки, записанной в

постоянную память контроллера нужные алгоритмы. Затем эти алгоритмы необходимо объединить в нужную конфигурацию и установить заданные параметры настройки. Контроллер имеет четыре независимых канала регулирования и достаточное количество цифровых и аналоговых входов и выходов, тем не менее, внутри контроллера происходит цифровая обработка данных. Типовая система регулирования мощности ДСП содержит три независимых регулятора, поэтому для модернизации такой САР достаточно одного контроллера Ремиконт, так как он имеет четыре независимых канала регулирования.

ВЫВОДЫ

Введение в систему управления программируемого модуля позволяет значительно наращивать возможности и функциональность САР. Например, можно реализовать САР с элементами адаптации к флуктуациям тока дуги или реализовать любой принцип регулирования мощности, например, дифференциальный или токовый, а можно и объединить оба принципа регулирования, если это необходимо.

Отказ от использования аналоговых и дискретных компонентов в САР ДСП и применение микропроцессорной техники вместо них позволяет уменьшить стоимость таких систем при минимальном техническом обслуживании и приемлемой скорости и точности регулирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Рубцов, В. П., Фандюшин, В. И. Устройство автоматического регулирования мощности дуговой электропечи. Авторское свидетельство СССР № 1713126 БИ № 6, 1992 г. – 2 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

В. И. Фандюшин¹, А. В. Мануковский², С. И. Игонин³, А. Ж. Сарина⁴

Электр доғасының пештің асимметриялық режимдерін микропроцессорлық түзету жүйесі

^{1,2,3,4}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

V. Fandyushin¹, A. Manukovskiy², S. Igonin³, A. Sarinova⁴

Microprocessor system correction of asymmetrical modes of an electric arc furnace

^{1,2,3,4}S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Бұл мақалада қуатты басқарудың типтік жүйесін жаңғырту әдісі ұсынылады. Доғалы болат балқытатын пештің фазалар бойынша қуаттардың біркелкі бөлінуін төмендету жолымен пештің көмегімен отемақы айырмашылықтар кедергі фазалардың жүзеге асыруда енгізе отырып, түзеу қуат реттегіші. Әдістің ерекшелігі сандық басқару қошу Ремиконт микроконтроллердің көмегімен.

This article proposes a method of modernization of the typical power control system of the arc steel furnace by reducing the uneven distribution of arc power in the phases of the furnace by compensating for differences in phase resistance, which is implemented by the introduction of a corrective signal in the power control. The peculiarity of the method is the transition to digital control using a Remicont microcontroller.

ГРНТИ 75.31.25

В. И. Фандюшин¹, А. В. Мануковский², С. И. Игонин³, А. Ж. Саринова⁴

¹к.т.н., Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,
г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²к.т.н., Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,
г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³к.ф.-м.н., Павлодарский государственный университет имени
С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴магистр вычислительной техники и программирования, Павлодарский
государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008,
Республика Казахстан;

e-mail: ¹fan.vladimir@mail.ru; ²man-av@yandex.ru; ³igoninsi@mail.ru;

⁴assiya_prog@mail.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

В данной статье предлагается метод управления уличным освещением в малых городах и посёлках. Особенностью метода является переход на полное цифровое управление группами светильников с использованием программируемых логических микроконтроллеров и передачи данных через Интернет.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, контроллеры, сервер, сеть передачи данных, контакторы, счётчик электроэнергии, группы светильников.

ВВЕДЕНИЕ

Сейчас в Республике Казахстан идёт реализация государственной программы «Цифровой Казахстан». В рамках этой программы правительством выбрано семнадцать основных задач, одной из задач является концепция «Умный город», в которой огромное место выделяется внедрению интеллектуального уличного освещения.

В Павлодаре уже начаты работы по совершенствованию системы управления уличным освещением, уже установлено большое количество LED светильников. Сейчас ведётся монтаж автоматизированной системы управления и контроля уличным освещением. Но данная система является сложной и дорогой, что оправдано для крупных городов. В малых городах и посёлках целесообразно использовать более простые и не дорогие решения.

Преимущества таких систем в значительном, до 50 % снижении затрат на обслуживание уличного освещения и в возможности снизить затраты на потребление электроэнергии [1]. В малых городах и посёлках уличное освещение основной потребитель электроэнергии, поэтому энергоэффективность управления это важнейшая задача в таких условиях.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Суть системы автоматического управления уличным освещением заключается в обеспечении безаварийной работы и диспетчеризации системы освещения, что достигается получением и обработкой следующих данных: количество перегоревших светильников, наличие или отсутствие электричества на подводящих линиях, информация о повреждениях на электрических линиях. Эта информация позволяет оперативно определять аварийные ситуации и быстро выполнять техническое обслуживание.

Причём наиболее целесообразным решением в данном случае будет полностью автоматизированная схема управления уличным освещением. Ядро такой системы может быть представлено программируемым логическим контроллером из серии Inline производителя Phoenix Contact. Эти контроллеры обладают встроенными часами реального времени, которые можно синхронизировать с внешними таймерами, что удобно для управления линиями освещения по любой заданной программе. Причём самый простой контроллер из серии позволяет управлять 26 контакторами. Контактторы можно объединять в группы, а можно управлять каждым контактором отдельно и дистанционно. Возможности и функциональность системы можно менять с помощью среды программирования PC Woxh, применяемой в данной серии контроллеров.

Контроллер имеет встроенный Ethernet-интерфейс для связи с диспетчерским центром и поддерживает протокол TCP/IP. Так как интерфейс стандартный, то можно использовать любые технологии: ADSL, сети 3G, оптоволоконные линии. Причём выделенные линии часто обходятся дорого, поэтому связь можно осуществлять через Интернет, но в этом случае необходимо позаботиться о безопасности. Стандартным средством от несанкционированного доступа в систему является межсетевой экран с технологией VPN и с использованием безопасного протокола IPSec. Большим преимуществом сети Ethernet является возможность удалённого программирования контроллера, что позволяет изменять задания без выезда на объект. Причём к контроллеру можно подключить любой сервер точного времени из Интернет или сервер времени, находящийся в диспетчерской.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы управления с тремя контакторами, к которым может быть подключена своя группа светильников.

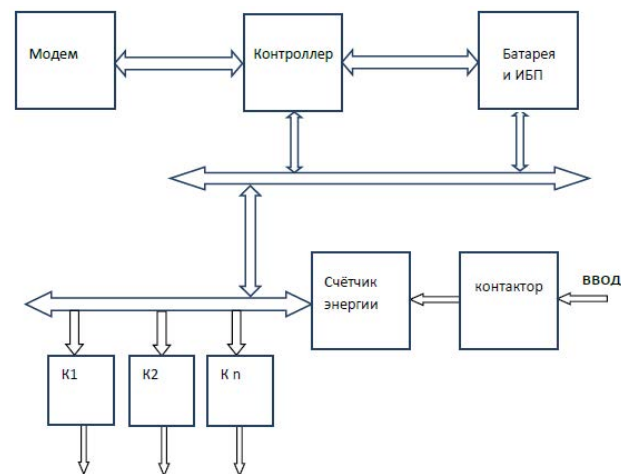


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления

Через модем обеспечивается связь контроллера с диспетчерской. ИБП – источник бесперебойного питания служит для обеспечения автономной работы контроллера, время автономной работы определяется ёмкостью батареи. Счётчик расхода электроэнергии стандартный типа ПСЧ-4. К1, К2 и Кп – контакторы, которые могут быть любые, как электромагнитные, так и тиристорные. Контактор на стороне ввода можно использовать по схеме АВР (автоматический ввод резерва), для этого только необходимо иметь две независимые линии ввода.

Контроллер может запоминать номинальные значения при полной нагрузке и при отключении некоторых каскадов светильников. Поэтому измеренные значения энергопотребления можно использовать для оценки количества сгоревших ламп или для определения нелегального подключения к электросети.

ВЫВОДЫ

Такая система является легко расширяемой, так как для диспетчеризации используется клиент-серверная архитектура с веб-технологиями. Это даёт возможность управлять из диспетчерского пункта несколькими независимыми контроллерами. При этом диспетчерская должна иметь сервер ввода-вывода для обмена информацией с контроллером и поддержкой базы данных с оперативными параметрами. Также необходимо иметь веб-сервер и сервер приложения, это даёт возможность мониторить систему с любого гаджета: планшета, смартфона или ноутбука.

Такие системы обладают большими возможностями расширения и модернизации и давно внедряются в инфраструктуру городского хозяйства в передовых странах. Пора и у нас в Казахстане не только внедрять эти системы, но и организовать их производство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кунгс, Я. А. Автоматизация управления электрическим освещением. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

В. И. Фандюшин¹, А. В. Мануковский², С. И. Игонин³, А. Ж. Саринаова⁴
Көше жарықтандыруды басқару жүйесі

^{1,2,3,4}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
 Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
 Материал 12.06.19 баспаға түсті.

V. Fandyushin¹, A. Manukovskiy², S. Igonin³, A. Sarinova⁴
Management system of street illumination

^{1,2,3,4}S. Toraihyrov Pavlodar State University,
 Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
 Material received on 12.06.19.

Бұл мақала кішігірім қалалар мен ауылдарда көшелерді жарықтандыру. Бұл әдістің ерекшелігі бағдарламаланатын логикалық микроконтроллерлі және интернет арқылы деректерді беруді пайдалана отырып шамдардың топтарымен толық цифрлық түрлендіруге көшу болып табылады.

This article proposes a method for controlling street lighting in small towns and villages. A feature of the method is the transition to full digital control of groups of lamps using programmable logic microcontrollers and data transmission over the Internet.

ГРНТИ 45.29.31

Ю. А. Цыба¹, Н. К. Алмуратова², Ю. А. Кузьмин²

¹к.т.н. профессор, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

²доктор PhD, доцент, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан;

³ст. преподаватель, кафедра ЭМЭП, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, 050000, Республика Казахстан

e-mail: nur0577@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

В статье приведена методика и результаты расчетов коэффициента не синусоидальности питающегося напряжения в среде MATLAB-Simulink при работе мощных частотно-регулируемых электроприводов для различного числа одновременно эксплуатируемых агрегатов. Даны некоторые рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости преобразователей частоты с электроприемниками, запитанными от общих шин с ними, а также с электротехническими устройствами, которые находятся в непосредственной близости от частотно-регулируемого привода.

Ключевые слова: математическая модель, преобразователь частоты, частотно-регулируемый электропривод, агрегат, компрессорная станция, амплитуда, высшие гармоники, коэффициент искажения, питающее напряжение, подстанция, электромагнитная совместимость, качество электроэнергии.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации мощных частотно – регулируемых электроприводов, которые используются в электро-газоперекачивающих агрегатах (ЭГПА) или насосах для транспортировки нефти можно констатировать постоянное присутствие некоторого спектра высших гармоник в сети, так как двигатель непрерывно получает питание от преобразователя частоты (ПЧ). Если при пуске двигателя от тиристорного пускового устройства, во избежание ложных срабатываний защит некоторых присоединений, оперативный персонал блокирует защиты или отключает некоторые фидеры на 15-20 с (на время

пуска), то с ПЧ этого сделать невозможно – необходима установка на секции или присоединениях с ПЧ высокочастотных фильтров (ВЧ-фильтров) для обеспечения качества электроэнергии (КЭ) согласно ГОСТ 13109-97 [1,2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современные методы исследования основаны на использовании цифровых ЭВМ. При этом используются универсальные программные средства широкого назначения, к которым относится, в частности, MATLAB Simulink – интерактивный инструмент для моделирования, анализа и синтеза динамических систем на основе библиотеки блоков [3].

Коэффициент искажения питающего напряжения рассчитывался при одном – трех одновременно эксплуатируемых агрегатах при питании от одной секции и при питании от одной секции и при пяти одновременно эксплуатируемых агрегатах в случае объединения секций. Математическая модель исследуемых процессов была реализована в программном комплексе MATLAB-Simulink 7.1 приведена на рисунке 1.

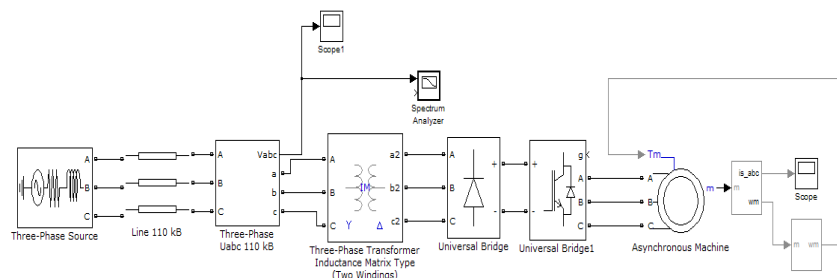


Рисунок 1 – Математическая модель в программном комплексе MATLAB-Simulink 7.1

При расчете амплитуд высших гармоник анализировался установившийся режим работы ПЧ, который раскладывался в ряд Фурье с учетом двух, четырех и семи периодов промышленной частоты. Такое разбиение связано с получением обобщенной картины искажения напряжения за различные промежутки времени.

Результаты расчетов коэффициента не синусоидальности питающего напряжения $K_{нс\Sigma}$ при различном числе одновременно эксплуатируемых агрегатов на секции 10 кВ приведены ниже:

Число двигателей.....	1	2	3	5
$K_{нс\Sigma}$ %.....	1,7-1,8	3,2-3,3	4,5-4,6	4,6-4,7

В таблице 1 приведены расчетные амплитуды высших гармоник напряжения на стороне 10 кВ для случая эксплуатации трех и пяти агрегатов.

Таблица 1 – Расчётные амплитуды высших гармоник напряжения на стороне 10 кВ для случая эксплуатации трёх или пяти агрегатов

№ гармоник	11	13	23	25	35	37
Значение, %, для трёх агрегатов	3,1	2,2	1,25	1,15	0,75	0,7
Значение, %, для пяти агрегатов	3,25	2,7	1,4	1,3	0,85	0,8

На рисунке 2 приведены расчетные амплитуды высших гармоник напряжения на стороне 10 кВ для случая эксплуатации трех и пяти агрегатов.

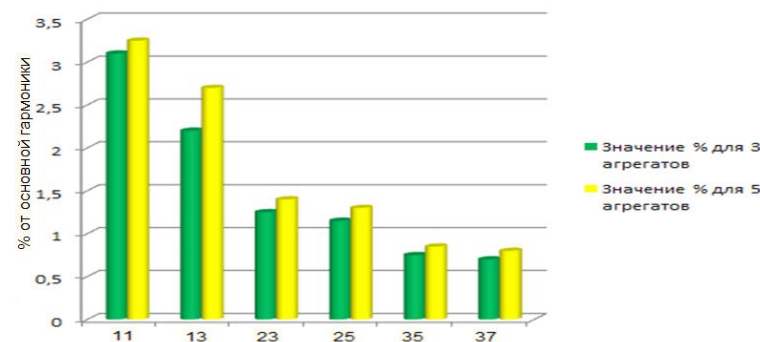


Рисунок 2 – Высшие гармоники в сети 10 кВ при эксплуатации агрегатов 6,3 МВт на подстанции 110/10 кВ

Необходимо отметить, что при трех и пяти эксплуатирующихся агрегатах, несмотря на то, что суммарный коэффициент несинусоидальности $K_{нс\Sigma}$ находится в пределах, регламентированных ГОСТ 13109-97, отдельные амплитуды гармоник, а именно № 11, 25 (550, 1250 Гц), незначительно превышают допустимые значения. Амплитуда гармоник № 11 составила в случае эксплуатации трех агрегатов примерно 3,1 % основной гармоники 50 Гц (допустимая величина – 2 %), а гармоника № 25 – 1,13 % основной гармоники (допустимая величина 1 %). При эксплуатации пяти агрегатов амплитуда гармоник № 11 составила примерно 3,2 % основной гармоники, амплитуды гармоник, № 25 – 1,2 %.

Анализируя искажение питающего напряжения со стороны 110 кВ, можно отметить, что во всех приведенных режимах и $K_{нс\Sigma}$ и

отдельные составляющие амплитуды высших гармоник не превосходят регламентированные ГОСТ 13109-97 значения. Полученные результаты расчетов амплитуд высших гармоник при эксплуатации группы частотно-регулируемых электроприводов ЭГПА – 6,3/8200-56/1,44 для установки на компрессорных станциях (КС) позволяют сделать вывод о целесообразности установки высокочастотных фильтров, настроенных на демпфирование частот, либо полосовых фильтров в сети 10 кВ подстанции для удовлетворения требований стандарта, регламентирующего качество электроэнергии.

Необходимо отметить, что недавние экспериментальные исследования, проведенные группой специалистов ООО «Тюментрансгаз» на одной из газотурбинных КС, показали, что при некоторых режимах эксплуатации возможны резонансные явления, связанные с воздействием высших гармоник на индуктивно – емкостный контур, образованный индуктивностью электродвигателя, питающего трансформатора и емкостью конденсаторов для компенсации реактивной мощности. При возникновении параметрического резонанса на определенной гармонике, ее амплитуда увеличивается в несколько раз, что приводит к общему искажению кривой питающего напряжения до недопустимого уровня. В связи с чем, теоретические и экспериментальные исследования резонансных явлений в электроприводе КС представляют особый интерес.

Таким образом, как было отмечено выше, внедрение мощных преобразователей частоты на КС характеризуется рядом недостатков, главный из которых – искажение кривой питающего напряжения и тока и как следствие постоянное присутствие некоторого спектра высших гармоник в сети вызванных работой ПЧ. Поэтому особенно остро стоит проблема по обеспечению электромагнитной совместимости ПЧ с электроприемниками, запитанными от общих шин с ПЧ, а также с электротехническими устройствами, которые находятся в непосредственной близости от частотно-регулируемого привода.

ВЫВОДЫ

Внедрение мощных преобразователей частоты характеризуется рядом недостатков, главный из которых – искажение кривой питающего напряжения и тока и как следствие постоянное присутствие некоторого спектра высших гармоник в сети вызванных работой ПЧ.

Результаты расчетов амплитуд высших гармоник при эксплуатации группы частотно-регулируемых электроприводов позволяют сделать вывод о целесообразности установки высокочастотных фильтров, настроенных на демпфирование частот, либо полосовых фильтров в сети 10 кВ для

удовлетворения требований стандарта, регламентирующего качество электроэнергии.

Данные полученные при проведении настоящих исследований могут быть рекомендованы для внедрения на компрессорных станциях магистральных газопроводов РК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Челазнов, А. А., Герасенков, А. А., Даки, Н. В.** Использование регулируемого электропривода в транспорте газа // Газовая промышленность. – 2005. № 11. – С. 27–28).

2 **Артюхов, И. И., Жабский, М. В., Аршакян, И. И., Тримбач, А. А.** Вопросы электромагнитной совместимости при оснащении вентиляторов АВО газа частотно-регулируемыми электроприводами. Проблемы электроэнергетики : Межвузовский научный сборник . – Саратов : СГТУ. 2005.

3 **Половко, А. М., Бутусов, П. Н.** MATLAB для студента. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Ю. А. Цыба¹, Н. К. Алмуратова², Ю. А. Кузьмин³

MATLAB Simulink бағдарламасында жиілікті – реттелетін электр жетегінің, қоректендіруші желінің электр энергиясының сапасына әсерін есептеу

^{1,2,3}КЕАҚ АЭЖБУ,

Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

Yu. A. Tsyba¹, N. K. Almuratova², Yu. A. Kuzmin³

Estimation of the effect of the frequency-regulated drive on the quality of electric energy of the food network in the MATLAB Simulink environment

^{1,2,3}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,

Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Мақалада matlab simulink бағдарламасында жиілікті – реттелетін электр жетегінің түрлі агрегаттарда қоректендіруші желінің электр энергиясының сапасына әсерін есептеудің синусоидальды емес қоректендіруші кернеудің коэффициентін есептеудің әдістемесі

мен есептері келтірілген. Электр қабылдағыштарының жиілікті түрлендіргіштермен электр магниттық үйлесімділігі бойынша ұсыныстар келтірілген. Олар жалпы желілерден, сондай-ақ электр техникалық қондырғылардан, тікелей жиілікті-түрлендіргіш электр жетектерінен қоректенеді.

The method and the results of calculating the non-sinusoidal coefficient of the supply voltage in the MATLAB-Simulink environment when operating powerful frequency-controlled electric drives for a different number of units simultaneously operated are given. Some recommendations are given for ensuring electromagnetic compatibility of frequency converters with electrical receivers fed from common buses with them, as well as with electrical devices that are in close proximity to the variable frequency drive.

ГРНТИ 44.29.01

**Б. К. Шапкенов¹, В. П. Марковский², А. П. Кислов³,
А. Б. Кайдар⁴, М. Б. Кайдар⁵**

¹к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴м. т. и т., гл. менеджер, АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу, Республика Казахстан;

⁵менеджер, АО «КазТрансГаз»; г. Нур-Султан, 010000, Республика Казахстан
e-mail: ¹argin_intel@mail.ru; ²wadim54@mail.ru; ³kislovpsu@mail.ru;

⁴argin_intel@mail.ru; ⁵m.kaidar@amangeldygas.kz

ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

Отмечается, что современные системы электропитания предназначены для нормальной работоспособности нагрузок с варьируемыми техническими характеристиками и необходимы для регулировки, преобразования и распределения электрической энергии, а также обеспечения бесперебойного электроснабжения на переменном и постоянном напряжении.

В статье рассмотрен вопрос динамических систем электроснабжения обеспечивающих качество электрической энергии с заданными параметрами, характеристики которых изменяются в соответствии с технологическим процессом.

Ключевые слова: энергосбережение, динамические системы, преобразователи, стабильность напряжения, автономные объекты.

ВВЕДЕНИЕ

Структура современных комплексных систем управления техническими средствами (КСУ ТС) предполагает объединение достаточно разнородных функциональных комплексов в единое информационное пространство на основе современных быстродействующих цифровых интерфейсов магистральной или кольцевой архитектуры. Приборы распределения

питания и агрегаты бесперебойного питания позволяют управлять имеющимися ресурсами электроэнергии с целью эффективного обеспечения бесперебойного электроснабжения КСУ ТС [1, с. 126].

Организация единого совокупного информационного пространства обеспечила переход на новый уровень проектирования интегрированных систем управления (ИСУ). В ИСУ, помимо информационного объединения разнородных систем управления ТС одного уровня (горизонтальная интеграция), обеспечивается аналогичное объединение с системами нижнего уровня в составе управляемого оборудования (вертикальная интеграция) и внешними по отношению к КСУ ТС корабельными системами и комплексами [1, с. 126]. Концепция интеграции, в основу которой положена идея объединения информационных и энергетических ресурсов всех технических систем на основе современных цифровых технологий, в настоящее время становится ведущей концепцией проектирования электротехнических систем.

В последнее десятилетие развитие теории и практики управления электроэнергетикой шло в направлении углубления вертикальной интеграции электротехнических систем на базе высокоэффективных цифровых технологий [2, с. 135]. Наибольший эффект был достигнут при применении быстродействующих цифровых интерфейсов, а также технологий и методов цифровой обработки сигналов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К современным системам электропитания, в составе различных технологий, предъявляется ряд требований, важнейшие из которых определяются статическими, динамическими и массогабаритными показателями. Кроме того системы должны удовлетворять требованиям электромагнитной и энергетической совместимости [1, с. 126].

В настоящее время происходит интенсивный рост числа электронной аппаратуры, функционирование которой сопровождается потреблением из сети импульсного тока и, как следствие, генерацией в сеть высших гармонических составляющих, способных вызвать повреждение электрооборудования или его неправильное функционирование. В связи с этим должны быть решены задачи:

- определение требований к качеству электроэнергии, используемой при работе различного рода потребителей;
- обеспечение этих требований при создании и эксплуатации устройств, систем и комплексов [2, с. 135].

Определение требований к качеству электроэнергии осуществляется разработчиками аппаратуры и обуславливается точностью устройств. По мере усложнения задач, решаемых электронной аппаратурой, происходит

повышение требований к ее точности и, следовательно, к качеству электроэнергии.

Для устройств автоматики и вычислительной техники эти требования сводятся в основном к стабильности напряжения питания в статических и динамических режимах.

Обеспечение требуемой стабильности напряжения питания производится за счет разработки соответствующих полупроводниковых преобразователей энергии. Повышение требований к стабильности напряжения приводит к усложнению схем преобразователей, что вызывает ухудшение массогабаритных, энергетических и других показателей.

Особо сложной и трудноразрешимой задачей является задача обеспечения стабильности напряжения в автономных подвижных объектах, где всегда имеют место жесткие ограничения на массогабаритные показатели оборудования.

Развитие современных технологий характеризуется широким распространением автономных объектов, способных решать различные производственные задачи при разнообразных условиях эксплуатации. Как правило, подобные объекты оснащаются автономными системами электроснабжения.

В зависимости от характера функциональных задач, решаемых автономными объектами, их системы электроснабжения содержат ряд источников вторичного электропитания (ИВЭП) соответствующих видов энергии.

Вследствие того, что технические устройства, реализующие производственные технологии, предъявляют определенные требования к качеству энергии, то соответствующие ИВЭП снабжаются соответствующими регуляторами и образуют вместе с ними замкнутые динамические системы (рисунок 1).

Так как проектирование динамической системы производится при условии обеспечения номинальных значений энергетических координат, то отклонение последних при работе системы воспринимаются ею как возмущения, действующие на определенные элементы системы. Отклонение энергетических координат от номинальных значений в ряде случаев приводит к некоторому эквивалентному изменению динамических свойств системы.

Оба отмеченных фактора обуславливают изменение качества функционирования динамических систем и требуют разработки методов учета или устранения указанных явлений при проектировании подобных систем. Отклонение энергетических координат от номинальных значений в процессе работы технических устройств обусловлено ограничением по мощности соответствующих источников питания (ИП) [3, с. 276].



Рисунок 1 – Взаимосвязь электромагнитных процессов в преобразователях и их влияние на технико-экономические показатели

Известно [3, с. 276], что повышение мощности ИП при прочих равных условиях практически всегда ведет к увеличению габаритов и массы соответствующего оборудования, повышению непроизводительных затрат энергии, (например увеличение потерь холостого хода) и следовательно, к ухудшению общего КПД энергооборудования. В силу указанных причин излишнее увеличение мощности ИП на автономных объектах и особенно на подвижных крайне нежелательно, поэтому мощность ИП автономных объектов на практике всегда ограничена и часто бывает соизмерима с мощностью приемников. Следствием ограниченности мощности ИП является зависимость значений их выходных координат от режима и характера работы нагрузки, которая, например, для источников электрической энергии определяется внутренним сопротивлением источника питания. В свою очередь характер и режимы работы приемников определяются режимами работы соответствующих динамических систем, в состав которых они входят.

Таким образом, при соизмеримости мощности ИП с мощностью приемников, с одной стороны, происходит влияние режимов работы динамических систем на характер изменений и значения выходных (энергетических) координат ИП, с другой стороны, следствием отклонений энергетических координат ИП от их номинальных значений является изменение (обычно ухудшение) качества функционирования динамических систем, получающих энергию от данного ИП.

Если от одного ИП получают энергию ряд динамических систем, то вследствие указанных факторов может возникнуть взаимное влияние

между процессами в разных системах через общий ИП. Для устранения этого явления можно производить раздельное энергоснабжение различных систем от нескольких автономных ИП. Однако подобное решение проблемы в общем случае не всегда удовлетворительно, поскольку применение целого ряда автономных ИП одной и той же физической природы приводит к ухудшению массогабаритных и энергетических показателей качества электрооборудования.

Поэтому в настоящее время наиболее широкое распространение получили системы централизованного питания подвижных объектов, предполагающие использование одного общего ИП, от которого и получают энергию все системы подвижного объекта.

Так как в состав системы «ИП-ИВЭП-нагрузка», входят самые разнообразные технические устройства (ТУ) различные по своей физической природе и принципу действия, работа которых предполагает потребление энергии разных видов и номиналов, то системы энергоснабжения по необходимости должны содержать преобразующие устройства, обеспечивающие получение энергии требуемого рода и качества.

Таким образом, система централизованного энергоснабжения, кроме первичного источника питания (ИП), содержит ряд преобразователей энергии, снабженных регуляторами соответствующих выходных (энергетических) координат, являющихся по существу замкнутыми регулируемые динамическими системами.

Поскольку число приемников электроэнергии обычно велико и они расположены некомпактно, то между ИП и нагрузкой необходимо организовать распределительную сеть, включающую в себя устройства передачи энергии, устройства коммутации каналов ее передачи и ряд вспомогательных устройств (фильтры, ограничители, датчики контроля, индикации). Таким образом, первичные ИП совместно с распределительной, коммутационной регулирующей аппаратурой и всеми преобразователями энергии, образуют систему электроснабжения (СЭС), от которой получают энергию все потребители.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б., Кайдар, М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей: монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. – Алматы : Эверо, 2016. – 176 с. – ISBN 978-601-310-762-2.

2 Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей : Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар,

А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. – Павлодар : Кереку, 2016. – 153 с. – ISBN978-601-238-674-5.

3 Шапкенов, Б., Калиев, Б., Кайдар, А. Теория и практика энергетических преобразователей : Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. – Изд. Lap Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, Germany, 2014. – 461 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

Б. К. Шапкенов¹, В.П. Марковски², А. П. Кислов³, А. Б. Кайдар⁴, М. Б. Кайдар⁵

Энергетикалық қызметкерлердің номиналды бағалаудың динамикалық жүйелері

^{1,2,3}С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;

⁴«ХимПарк Тараз» еркін экономикалық аймағын
басқару компаниясының» АҚ,

Шу қ., 081127, Қазақстан Республикасы;

⁵«ҚазТрансГаз» АҚ,

Нұр-Сұлтан қ., 010000, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

В. К. Shapkenov¹, V. P. Markowsky², A. P. Kislov³, A. B. Kaidar⁴, M. B. Kaidar⁵

Dynamic systems ensuring nominal values of energy coordinates

^{1,2,3}S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan;

⁴JSC «MC SEZ HimPark Taraz»,
Shu, 081127, Republic of Kazakhstan;

⁵JSC «KazTransGas»,

Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Заманауи электрмен жабдықтау жүйелері әр түрлі техникалық сипаттамалары бар жүктемелердің қалыпты жұмысына арналған және электр энергиясын реттеу, айырбастау және тарату, сондай-ақ ауыспалы және тұрақты кернеуде үзіліссіз қоректендіруді қамтамасыз ету үшін қажет деп белгіленген.

Мақалада электр энергиясының сапасын қамтамасыз ететін динамикалық энергиямен қамтамасыз ету жүйелерінің мәселесі қарастырылған, олардың сипаттамалары технологиялық процеске сәйкес өзгереді.

It is noted that modern power supply systems are designed for the normal operation of loads with varying technical characteristics and are necessary for regulating, converting and distributing electrical energy, as well as ensuring uninterrupted power supply at alternating and constant voltage.

The article deals with the issue of dynamic power supply systems ensuring the quality of electrical energy with given parameters, the characteristics of which vary in accordance with the technological process.

**В. М. Юров¹, А. С. Балтабеков²,
С. А. Гученко³, В. Ч. Лауринас⁴**

¹к.ф.-м.н., доцент, Физико-технический факультет, Карагандинский государственный университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100028, Республика Казахстан;

²к.ф.-м.н., доцент, Физико-технический факультет, Карагандинский государственный университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100028, Республика Казахстан;

³магистр, Физико-технический факультет, Карагандинский государственный университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100028, Республика Казахстан;

⁴к.ф.-м.н., профессор, Физико-технический факультет, Карагандинский государственный университет имени Е. А. Букетова, г. Караганда, 100028, Республика Казахстан

e-mail: ¹exciton@list.ru; ²abskargu@mail.ru; ³guchen@mail.ru;

⁴vitass-laurinas@rambler.ru.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
МНОГОФАЗНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Одна из ключевых проблем, которые следует решить при создании наноконпозиционных магнетронных покрытий, – генерация многокомпонентных потоков, осаждаемых на подложку. В настоящее время для понимания механизмов формирования различных функциональных и нанокристаллических покрытий и управления их качеством необходимо использовать широкий набор методов исследования. Поэтому в настоящей работе представлены использованные нами методы исследования физико-механических и физико-химических свойств исследуемых покрытий:

В работе обнаружено образование сверхтвердых покрытий, полученных при одновременном распылении титанового катода и мишени 12Х18Н10Т в среде азота, когда происходит образование нитридных фаз;

Этот результат имеет важное практическое значение для упрочнения деталей механизмов и машин различных отраслей промышленности, в том числе и для деталей агрегатов тепловых электростанций.

Ключевые слова: покрытие, магнетрон, наноконкомпозит, поверхность, напыление.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее перспективными для получения наноструктурированных покрытий являются вакуумные ионно-плазменные методы: магнетронного распыления, ионного и вакуумно-дугового осаждения. Это связано с тем, что кроме термического фактора появляются и другие – высокая степень ионизации, плотность потока и энергия частиц. Качество покрытия можно регулировать путем изменения температуры подложки, давления рабочего газа, потенциала подложки и других технологических параметров [1].

Получение наноконкомпозитов с помощью магнетронных и ионно-плазменных методов требует осаждения на подложку многокомпонентных потоков. В большинстве случаев синтез покрытий сложного элементного состава реализуется путем послойного или одновременного осаждения на подложку в атмосфере реакционных газов потоков от двух источников: ионных [2], магнетронных [3], вакуумно-дуговых [4] и их комбинации [5].

Одна из ключевых проблем, которые следует решить при создании наноконпозиционных магнетронных покрытий, – генерация многокомпонентных потоков, осаждаемых на подложку.

В настоящем исследовании мы синтезировали мишени Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al, Fe-Cu-Al, Fe-Mn-Cu-Al и некоторые другие. Использовались также титановые, медные, алюминиевые мишени и мишени из стали 12Х18Н10Т для одновременного распыления при получении многослойных и многофазных покрытий.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Получение многофазных мишеней проводилось в вакуумной печи, показанной на рисунке 1а, путем плавления исходной смеси металлов. Для получения мишеней диаметром 100 мм и толщиной 8 мм, была изготовлена графитовая форма, показанная на рисунке 1б. Вид мишеней, полученных таким способом, показан на рисунке 1в.



Рисунок 1 – Двухколпачковая вакуумная печь (а), графитовая форма для плавки металла (б), вид мишеней, полученных методом вакуумной плавки (в)

В наших исследованиях использовался оптический металлографический микроскоп «Эпиквант». Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличения объектива на увеличение окуляра, так как изображение предмета увеличивается в объективе и окуляре. Увеличение современных металлографических микроскопов «Эпиквант» может быть от 60 крат до 1500 при визуальном наблюдении и до 2000 крат при фотографировании.

Электронно-микроскопическое исследование было проведено на растровом электронном микроскопе MIRA 3 фирмы TESCAN. Исследования проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ и рабочем расстоянии около 15 мм. Для каждого образца было сделано по 4 снимка с 4 точек поверхности при разных увеличениях: 245 крат, 1060 крат, 4500 крат и 14600 крат. Путем энергодисперсионных спектров по специальной программе PHI-RHO-Z были определены концентрации элементов. Концентрации элементов определены использованием аналитических сигналов Al K_{α} , Si K_{α} , Cr K_{α} , Mn K_{α} , Fe K_{α} , Cu K_{α} имеющие максимальные интенсивности. При определении значения массовых (G, %) концентраций элементов по PHI-RHO-Z были применены метод Vence и Albee.

Для исследования поверхности покрытий в наномасштабе нами использовался атомно-силовой микроскоп NT-206 международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева.

Большая часть экспериментальных данных получена нами в Материаловедческом центре коллективного пользования при Томском государственном университете (г. Томск, Россия). Толщина покрытий и их элементный состав измерялись с помощью электронного микроскопа Quanta 200 3D, который представляет собой систему с электронным и сфокусированным ионным пучками.

Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на $CuK\alpha$ -излучении. Анализ фазового состава, размеров областей когерентного рассеяния, упругих напряжений ($\Delta d/d$) проведен с использованием баз данных PCPDFWIN и PDF4+, а так же программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.4. Для образцов была определена нанотвердость покрытий с помощью системы наноидентификации по методу Оливера и Фара с использованием индентера Берковича при нагрузке 1 г и времени выдержки 15 с.

Нами использовался микротвердомер HVS-1000A. Данный прибор разработан с использованием последних достижений в механике, оптике, электронике и компьютерных технологиях для проведения испытаний на твердость металлических и неметаллических материалов, особо мелких деталей или тонких закаленных слоев. В результате прибор способен обеспечивать стабильными и достоверными высокоточными результатами. Он так же может использоваться для исследования структуры металлических материалов и для определения распределения цементита по поверхности и экспериментов с определением твердости по методу Кнупа.

Для исследования элементного состава были сделаны три пробы на разных участках выбранной площадки покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al (рис. 2).

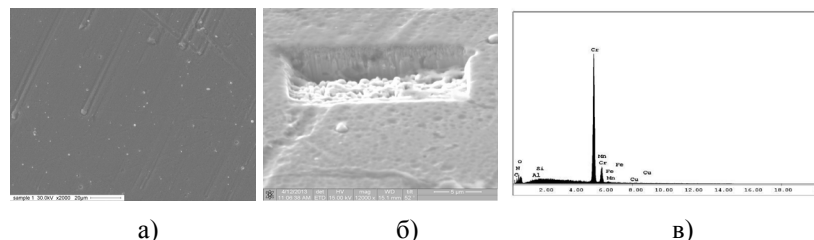


Рисунок 2 – РЭМ-покрытия (а), толщина покрытия (б), РФЭС покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al (в)

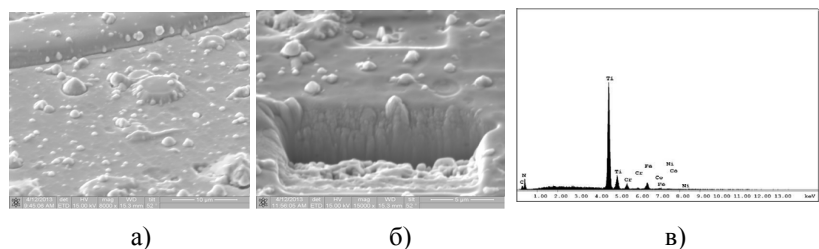
На рисунке 2в показан элементный состав покрытия в одной точке выбранной площадки. В таблице 1 приведены процентные соотношения химических элементов покрытия.

Таблица 1 – Фазовый состав покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в среде азота

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, об. %	Параметры решетки, Å	Размеры ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
Образец Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в среде азота, 40 мин	$FeN_{0.0324}$	60,6	$a = 3,598$	103,4	3,460
	$TiN_{0.31}O_{0.31}$	39,4	$a = 4,211$	25,6	5,143

Для образца № 1 была определена нанотвердость покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в газовой среде азота, которая равна 7,413 ГПа, что соответствует 686,57 единицам твердости по методу Виккерса. Было определены: модуль текучести данного покрытия, который равен 169,51 ГПа, текучесть составляет 0,68 %, и релаксация покрытия равна 0,05 %. Для определения всех выше перечисленных параметров было определено число Пуассона для покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в газовой среде азота, равное приблизительно 0,30.

На образец № 2 из нержавеющей стали было нанесено покрытие 12X18H10T+Ti в газовой среде азота в течение 40 мин. На рис. 3а показано электронно-микроскопическое изображение (РЭМ) покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде азота модельного образца до начала исследования (а), Для измерения толщины нанесенного слоя покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде азота модельного образца № 2 на его поверхности была вырезана площадка сфокусированным ионным пучком. Толщина слоя составляет 1,5 микрона. На рис. 3б показана толщина покрытия в газовой среде азота модельного образца № 2, а на рис. 3в – элементный состав покрытия.



а) б) в)
Рисунок 3 – РЭМ-покрытия (а), толщина покрытия (б), РФЭС покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде азота (в)

Результаты исследования фазового состава и структурных параметров приведены в таблице 2.

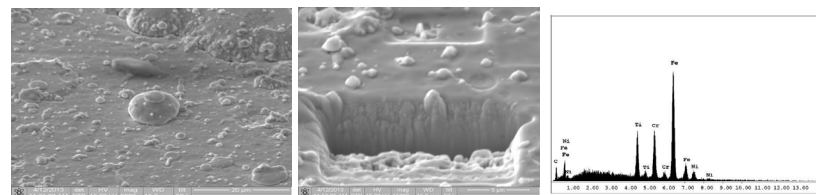
Таблица 2 – Фазовый состав покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде азота

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, об. %	Параметры решетки, Å	Размеры ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
12X18H10T+Ti в газовой среде азота	FeN _{0,0324}	9,8	a = 3,592	10,35	2,18
	TiN	85,5	a = 4,240	14,71	5,87
	Fe-α	4,6	a = 2,864	7,29	4,84

Для образца № 2 была определена нанотвердость покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота, которая равна 35,808 ГПа, что соответствует 3 316, 2 единицам твердости по методу Виккерса. Были определены: модуль

текучести покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота, который равен 378,56 ГПа, текучесть его составляет 0,15 %, и релаксация покрытия равна 0,05 %. Для определения всех выше перечисленных параметров было определено число Пуассона для покрытия 12X18H10T с Ti в газовой среде азота равное приблизительно 0,27.

На образец № 3 из нержавеющей стали так же было нанесено покрытие 12X18H10T+Ti в газовой среде аргона в течение 40 мин. На рис. 4а показано электронно-микроскопическое изображение покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде аргона образца до начала исследования. Толщина слоя составляет 989,98 нм. На рис. 4б показана толщина покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде аргона образца № 3, а на рис. 4в – элементный состав покрытия.



а) б) в)
Рисунок 4 – РЭМ-покрытия (а), толщина покрытия (б), РФЭС покрытия 12X18H10T+Ti в газовой среде аргона (в)

Из приведенных выше экспериментальных данных следует, что при нанесении покрытий в течение 40 минут формируются покрытия толщиной (1-1,5) мкм. Элементный анализ показал высокое содержание Cr в покрытии Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al в газовой среде азота – 89,09 %. Покрытие 12X18H10T+Ti в газовой среде азота содержит 73 % Ti, а покрытие 12X18H10T+Ti в газовой среде аргона имеет высокое содержание Fe – 64,96 %.

Данное исследование элементного состава показало, что все элементы рабочих мишеней присутствуют в их покрытиях, однако соотношение между ними может значительно изменяться. Это хорошо видно из сравнения РФЭС-спектров катода, полученного нами в [6] (рис. 5), и РФЭС покрытия, показанного на рис. 2.

– этот результат имеет важное практическое значение для упрочнения деталей механизмов и машин различных отраслей промышленности, в том числе и для деталей агрегатов тепловых электростанций.

Работа выполнена по программе МОН РК. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0780.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Юров, В. М., Вертягина, Е. Н., Гученко, С. А. и др. Влияние технологических параметров на свойства композиционных покрытий Mn-Fe-Cu-Al // Вестник развития науки и образования, 2011. – № 2. – С. 18–22.

2 Watanabe, H., Sato, Y., Nie, C. et al. The mechanical properties and microstructure of Ti-Si-N nanocomposite films by ion plating // Surf. and Coat. Technol. – 2003. – V. 169–170. – P. 452–455.

3 Carvalho, S., Ribeiro, E., Rebouta, L. et al. Effect of morphology and structure on the elastic behavior of (Ti, Si, Al) N nanocomposites // Surf. and Coat. Technol. – 2003. – V. 174–175. – P. 984–991.

4 Flink, A., Larson, T., Sjolen, J. et al. Influence of Si on the microstructure of arc evaporated (Ti, Si)N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability // Surf. and Coat. Technol. – 2005. – V. 200. – P. 1535–1542.

5 Li, Z. G., Mori, M., Miyake, S. et al. Structure and properties of Ti-Si-N films prepared by ISP assisted magnetron sputtering // Surf. and Coat. Technol. – 2005. – V. 193. – P. 345–349.

6 Гученко, С. А., Ибраев, Н. Х., Афанасьев, Д. А. Композиционные катоды для ионно-плазменных покрытий // Вестник КазГУ, сер. Физика, 2009. – № 4 (56). – С. 41–47.

7 Головин, Ю. И. Наноиндентирование и механические свойства материалов в наномасштабе (обзор) // ФТТ, 2008. – Т. 50. – № 12. – С. 2113–2142.

8 Юров, В. М., Лауринас, В. Ч., Гученко, С. А. и др. Структура и свойства многофазных ионно-плазменных покрытий. – Караганда : Изд-во Казахстано-Российского ун-та, 2013. – 150 с.

Материал поступил в редакцию 12.06.19.

V. M. Yurov¹, A. S. Baltabekov², S. A. Guchenko³, V. Ch. Laurinas⁴

Көпфазалы Қаптамаларды қалыптастыру ерекшеліктері

^{1,2,3,4}Физика-техникалық факультеті,

Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті,

Қарағанды қ., 100024, Қазақстан Республикасы.

Материал 12.06.19 баспаға түсті.

V. M. Yurov¹, A. S. Baltabekov², S. A. Guchenko³, V. Ch. Laurinas⁴

Features of formation of multiphase coatings

^{1,2,3,4}Physics and Technology Faculty,

E. A. Buketov Karaganda State University,

Karaganda, 100028, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.06.19.

Нанокөпфазалық магнетрондық қаптамаларды құру кезінде шешетін негізгі проблемалардың бірі – төсенішке шөгелетін көп компонентті ағындардың генерациясы. Қазіргі уақытта әртүрлі функционалдық және нанокристалды қаптамаларды қалыптастыру және олардың сапасын басқару механизмдерін түсіну үшін зерттеу әдістерінің кең жиынтығын пайдалану қажет. Сондықтан осы жұмыста зерттелетін қаптамалардың физика-механикалық және физика-химиялық қасиеттерін зерттеу әдістері ұсынылған.

Жұмыста нитридті фазалар пайда болған кезде азот ортасында титан катодының және 12X18H10T нысанасының бір мезгілде тозаңдануы кезінде алынған аса қатты қаптамалардың түзілуі анықталды;

Бұл нәтиже өнеркәсіптің әртүрлі салаларының механизмдері мен машиналарының бөлшектерін нығайту үшін, соның ішінде жылу электр станцияларының агрегаттарының бөлшектерін нығайту үшін маңызды практикалық мәнге ие.

One of the key problems that should be solved when creating nanocomposite magnetron coatings is the generation of multicomponent flows deposited on the substrate. Currently, to understand the mechanisms of formation of various functional and nanocrystalline coatings and their quality management, it is necessary to use a wide range of research methods. Therefore, this paper presents the methods used by us to study the physicomechanical and physicochemical properties of the investigated coatings:

The work revealed the formation of superhard coatings obtained by simultaneously sputtering a titanium cathode and a 12X18H10T target in a nitrogen atmosphere, when the formation of nitride phases occurs;

This result is of great practical importance for the hardening of parts of mechanisms and machines of various industries, including parts of units of thermal power plants.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА
«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в

1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста**. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Статья должна содержать:

1 **ГРНТИ** (Государственный рубрикатор научной технической информации);

2 **Инициалы и фамилия** (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, см. образец*);

3 **Ученую степень, ученое звание;**

4 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

5 **E-mail;**

6 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, заглавными прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, на трех языках: русский, казахский, английский, см. образец*);

7 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 100 слов, прописными буквами, нежирным шрифтом 12 кегль, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

8 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на языке публикуемого материала: кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см.*). 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*);

9 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

– слово **ВВЕДЕНИЕ** / КІРІСПЕ / INTRODUCTION (*нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре см. образец*).

Необходимо отразить результаты предшествующих работ ученых, что им удалось, что требует дальнейшего изучения, какие есть альтернативы (если нет предшествующих работ – указать приоритеты или смежные исследования). Освещение библиографии позволит отгородиться от признаков заимствования и присвоения чужих трудов. Любое научное изыскание опирается на предыдущие (смежные) открытия ученых, поэтому обязательно сослаться на источники, из которых берется информация. Также можно описать методы исследования, процедуры, оборудование, параметры измерения, и т.д. (*не более 1 страницы*).

– слова **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** / НЕГІЗГІ БӨЛІМ / MAIN PART (*нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре*).

Это отражение процесса исследования или последовательность рассуждений, в результате которых получены теоретические выводы. В научно-практической статье описываются стадии и этапы экспериментов или опытов, промежуточные результаты и обоснование общего вывода в виде математического, физического или статистического объяснения. При необходимости можно изложить данные об опытах с отрицательным результатом. Затраченные усилия исключают проведение аналогичных испытаний в дальнейшем и сокращают путь для следующих ученых. Следует описать все виды и количество отрицательных результатов, условия их получения и методы его устранения при необходимости. Проводимые исследования предоставляются в наглядной форме, не только экспериментальные, но и теоретические. Это могут быть таблицы, схемы, графические модели, графики, диаграммы и т.п. Формулы, уравнения, рисунки, фотографии и таблицы должны иметь подписи или заголовки (*не более 10 страниц*).

– слово **ВЫВОДЫ** / ҚОРЫТЫНДЫ / CONCLUSION (*нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре*).

Собираются тезисы основных достижений проведенного исследования. Они могут быть представлены как в письменной форме, так и в виде таблиц, графиков, чисел и статистических показателей, характеризующих основные выявленные закономерности. Выводы должны быть представлены без интерпретации авторами, что дает другим ученым возможность оценить качество данных и позволит дать свою интерпретацию результатов (*не более 1 страницы*).

10 **Список использованных источников** включает в себя:

– слово **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** / ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ / REFERENCES (*Нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре*).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами для кругозора читателям, как смежные работы, проводимые параллельно. Рекомендуемый объем *не более чем из 20 наименований* (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Статья и список литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (*см. образец*).

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В бумажном и электронном вариантах приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

Информация для авторов

Все статьи должны сопровождаться двумя рецензиями доктора или кандидата наук для всех авторов. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

При необходимости статья возвращается автору на доработку. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально).

Статью (бумажная, электронная версии, оригиналы рецензий и квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@psu.kz

www.vestnik.psu.kz

Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге.**

Наши реквизиты:

РГП на ПХВ Павлодарский
государственный университет имени
С. Торайгырова

РНН 451800030073

БИН 990140004654

АО «Цеснабанк»

ИИК KZ57998FTB00 00003310

БИК TSESKZK A

Кбе 16

Код 16

КНП 861

РГП на ПХВ Павлодарский
государственный университет имени
С. Торайгырова

РНН 451800030073

БИН 990140004654

АО «Народный Банк Казахстана»

ИИК KZ156010241000003308

БИК HSBKZKX

Кбе 16

Код 16

КНП 861

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ГРНТИ 396.314.3

А. Б. Есимова

к.п.н., доцент, Гуманитарно-педагогический факультет, Международный Казахско-Турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан
e-mail: ad-ad_n@mail.ru

СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с кодификацией норм устной речи в орфоэпических словарях, являющихся одной из отраслей ортологической лексикографии. Проводится анализ составления первых орфоэпических словарей, говорится о том, что в данных словарях большее внимание уделяется устной орфографии в традиционном применении, а языковые нормы устной речи остались вне внимания. Также отмечается, что нормы устной речи занимают особое место в языке программ средств массовой информации, таких как радио и телевидение, и это связано с тем, что диктор читает свой текст в микрофон четко по бумажке. В статье также выявлены отличия устной и письменной речи посредством применения сравнительного метода, и это оценивается как один из оптимальных способов составления орфоэпических словарей.

Ключевые слова: репродуктивное поведение, семейно-родственные связи.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отрасль мобильной робототехники переживает бурное развитие. Постепенно среда проектирования в области мобильной ...

Продолжение текста

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На современном этапе есть тенденции к стабильному увеличению студентов с нарушениями в состоянии здоровья. В связи с этим появляется необходимость корректировки содержания учебно-тренировочных занятий по физической культуре со студентами, посещающими специальные медицинские группы в ...

Продолжение текста публикуемого материала

ВЫВОДЫ

В этой статье мы представили основные спецификации нашего мобильного робототехнического комплекса...

Продолжение текста

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 - Показатели репродуктивного поведения

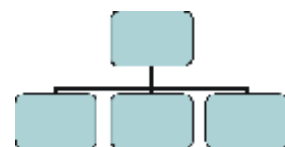
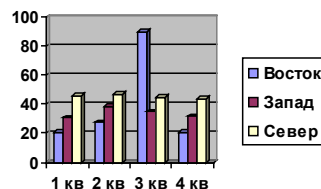


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Эльконин, Д. Б. Психология игры [Текст] : научное издание / Д. Б. Эльконин. – 2-е изд. – М. : Владос, 1999. – 360 с. – Библиогр. : С. 345–354. – Имен. указ. : С. 355–357. – ISBN 5-691-00256-2 (в пер.).

2 Фришман, И. Детский оздоровительный лагерь как воспитательная система [Текст] / И. Фришман // Народное образование. – 2006. – № 3. – С. 77–81.

3 Антология педагогической мысли Казахстана [Текст] : научное издание / сост. К. Б. Жарикбаев, сост. С. К. Калиев. – Алматы : Рауан, 1995. – 512 с. : ил. – ISBN 5625027587.

4 http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/4/#part_0.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Гуманитарлық-педагогикалық факультеті,
Қ. А. Ясави атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті,
Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы.

А. В. Yesimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

Faculty of Humanities and Education,
K. A. Yesevi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, 161200, Republic of Kazakhstan.

Мақалада ортологиялық лексикографияның бір саласы – орфоэпиялық сөздіктердегі ауызыша тіл нормаларының кодификациялануымен байланысты мәселелер қарастырылады. Орфоэпиялық сөздік құрастырудың алғашқы тәжірибелері қалай болғаны талданып, дәстүрлі қолданыстағы ауызыша емлесімен, әсіресе мектеп өмірінде жазба сөзге ерекше көңіл бөлініп, ал ауызыша сөздің тілдік нормалары назардан тыс қалғаны айтылады. Сонымен қатар ауызыша сөз нормаларының бұқаралық ақпарат құралдары – радио, телевизия хабарлары тілінде ерекше орын алуы микрофон алдында диктордың сөзді қағаз бойынша нақпа-нақ, тақпа-тақ айтуымен байланысты екені атап көрсетіледі. Сөздікте ауызыша сөзбен жазба сөздің салғастыру тәсілі арқылы олардың айырмасын айқындалғаны айтылып, орфоэпиялық сөздік құрастырудың бірден-бір оңтайлы жолы деп бағаланады.

The questions, related to the norms of the oral speech codification in pronouncing dictionary are the one of the Orthologous Lexicography field, are examined in this article. The analysis of the first pronouncing dictionary is conducted, the greater attention in these dictionaries is spared to verbal orthography in traditional application, and the language norms of the oral speech remained without any attention. It is also marked that the norms of the oral speech occupy the special place in the language of media programs, such as radio and TV and it is related to that a speaker reads the text clearly from the paper. In the article the differences of the oral and writing language are also educed by means of application of comparative method and it is estimated as one of optimal methods of the pronouncing dictionary making.

Теруге 12.06.2019 ж. жіберілді. Басуға 26.06.2019 ж. қол қойылды.
Пішімі 70x100 $\frac{1}{16}$. Кітап-журнал қағазы.
Шартты баспа табағы 23,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Жумабекова
Тапсырыс № 3459

Сдано в набор 12.06.2019 г. Подписано в печать 26.06.2019 г.
Формат 70x100 $\frac{1}{16}$. Бумага книжно-журнальная.
Усл. печ. л. 23,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Жумабекова
Заказ № 3459

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
e-mail: kereku@psu.kz
www.vestnik.psu.kz