

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 (2016)

Павлодар

МАЗМҰНЫ**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

Энергетическая серия

выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации

№ 14310-Ж

выдано

Министерством культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Леньков Ю. А., *к.т.н., доцент*

Ответственный секретарь

Акаев А. М.

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Алиферов А. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
 Боровиков Ю. С., *к.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*
 Захаров И. В., *д.т.н., профессор*
 Клещель М. Я., *д.т.н., профессор*
 Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
 Тастенов А. Д., *к.т.н., доцент*
 Хацевский В. Ф., *д.т.н., профессор*
 Нургожина Б. В. *технический редактор*

**Азимов А. М., Жантасов К. Т., Сатаев М. И.,
Ортаев А. Е., Калдыкозов Т. А.**

Полиамидтік мембраналармен судан тұз иондарын селективті түрде бөліп алу механизмінің ерекшеліктері мен заңдылықтары9

Антонцев А. В., Жумажанов С. К., Амренова Д. Т., Исабеков Д. Д.

Бейнелерді танып білу теориясының әдістерін автоматты басқару жүйелерді жоспарлау үшін пайдалану18

Герасименко Т. С.

Электр желідегі электрэнергияның бағындық ағынның жоғалуы және трансформатордағы жинақталған кешенді іс-шараның азаюы23

Жалмағамбетова У. К., Нукенов К. К.

Автоматтандырылған жетекті құбыр кілті қауіпсіз және неғұрлым тиімді жұмыспен қамтамасыз етеді33

Жапаргазинова К. Х., Торощина Д. А.

Қалдық суларды тазартуға арналған модифицирленген суда ерігіш полимерлерді флокулянт ретінде зерттеу37

Исабеков Ж. Б.

3-10 кВ кабельдік тораптарда жерге бір фазалы тұйықталулар кезінде токтарды есептеудің әдістерін талдау46

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П.,

Марковский В. П., Антонцев А. В.

Негізгі векторлардың ендік-импульстік модуляциямен транзистор инверторлары54

Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шонаев Д. Т.,

Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарапиденов Д. С.

Үш фазалық жүйелердің симметриялауы62

Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шонаев Д. Т.,

Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарапиденов Д. С.

Таратушы желілерде электр энергиялардың 0,38 кВ сапасының және қосымша жоғалтулардың зерттеулері72

Копырин В. С., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б.,

Шахман Е. Т.

Электр пештерінің қарсыласуының дифференциалды қорғаулар ерекшеліктері83

Лукутин Б., Мустафина Р., Сарсикеев Е., Сурков М.

Автономды желдизельдік электрмен қамту кешендерінде жел- және дизель-генераторларының қуаттары арасындағы

оптимальды қатынасты анықтау88

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

СОДЕРЖАНИЕ

Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Садуакасова Г. М., Рахимбердинова Д. М.
Телекоммуникациялық желілердің негізгі құрылымы мен сипаттамасына талдау95

Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Садуакасова Г. М., Рахимбердинова Д. М.
Телекоммуникациялық жүйенің импульсті-кодтық модуляторы 102

Нефтисов А. В., Садуакасова А. Д.
Техникалық-экономикалық көрсеткіштердің автоматтандырылған есептеу жүйесін жүзеге асыру үшін ЖЭО-3-тің техникалық және бағдарламалық қамтылуын талдау108

Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е.
Төмен қуатты қазандарда энергия тиімділікті жоғарлату тәсілдері 113

Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Григорьев О. О.
Отындық брикеттерде жұмыс істеу кезінде қайнап тұратын қабатымен қазанды физикалық модельдеу121

Пармонов Д. Ф., Масақбаева С. Р., Пармонов Ф. П.
Талдаудың рентгенфлуоресцентті әдісін қолдануда сұйылту тәсілін бағалау128

Пармонов Д. Ф., Масақбаева С. Р., Пармонов Ф. П.
Полихроматикалық рентгенфлуоресцентті талдау кезінде сіңірудің массалық коэффициенттері белгілі болатын сұйылтқышты қолдану137

Пармонов Д. Ф., Ковтарева С. Ю., Пармонов Ф. П.
Металлургиялық өндірістің қара қоқыстарын талдауда ас тұзын сұйылтқыш ретінде қолдану144

Рындин В. В., Абитова Д. М.
Mathcad жүйесіндегі магистральді мұнай құбырын төрт нұсқамен есептеу153

Тәжібай Е. Р., Искаков Е. А., Магаз Ә. А., Достоева А. М.
Алюминий негізіндегі термотұрақты сым дайындауда қолданылатын легірлеуші қоспаларға талдау163

Хисматуллин А. С., Хасанов Д. С.
Элегаз салқындатқышты өнеркәсіптік күштік трансформаторларда жылу алмасуды зерттеу174

Авторларға арналған ережелер.....182

Азимов А. М., Жантасов К. Т., Сатаев М. И., Ортаев А. Е., Калдыкозов Т. А.
Особенности и закономерности механизма селективного извлечения ионов солей из воды полиамидными мембранами9

Антонцев А. В., Жумажанов С. К., Амренова Д. Т., Исабеков Д. Д.
Применение методов теории распознавания образов к проектированию систем автоматического управления18

Герасименко Т. С.
Структура распределения потерь электроэнергии в электрических сетях и трансформаторах с разработкой комплекса мероприятий по их снижению23

Жалмагамбетова У. К., Нуkenov К. К.
Автоматизированный приводной трубный ключ обеспечивает безопасную и более эффективную работу33

Жапаргазинова К. Х., Торощина Д. А.
Исследование модифицированных водорастворимых полимеров в качестве флокулянтов для очистки сточной воды37

Исабеков Ж. Б.
Анализ методов расчетов токов при однофазных замыканиях на землю в кабельных сетях 3-10 кВ46

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П., Антонцев А. В.
Транзисторные инверторы с широтно-импульсной модуляцией базовых векторов54

Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шонаев Д. Т., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарапиденов Д. С.
Симметрирование трехфазных систем62

Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шонаев Д. Т., Кайдар М. Б., Марковский В. П., Шарапиденов Д. С.
Исследования качества и дополнительных потерь электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кВ72

Копырин В. С., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Шахман Е. Т.
Особенности дифференциальной защиты электрической печи сопротивления83

Лукутин Б. В., Мустафина Р. М., Сарсикеев Е. Ж., Сурков М. А.
Определение оптимального соотношения установленных мощностей ветро- и дизель-генераторов в автономных ветродизельных комплексах электроснабжения88

Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Садуакасова Г. М., Рахимбердинова Д. М. Анализ основных структур и характеристик телекоммуникационных сетей	95
Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Садуакасова Г. М., Рахимбердинова Д. М. Импульсно кодовый модулятор систем телекоммуникаций	102
Нефтисов А. В., Садуакасова А. Д. Анализ технического и программного обеспечения ТЭЦ-3 для реализации автоматизированной системы расчета технико-экономических показателей	108
Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Карманов А. Е. Методы повышения энергоэффективности на котлах малой мощности ..	113
Никифоров А. С., Приходько Е. В., Кинжибекова А. К., Григорьев О. О. Физическое моделирование котла с кипящим слоем при работе на топливных брикетах	121
Парамонов Д. Ф., Масакбаева С. Р., Парамонов Ф. П. Оценка приема разбавления при использовании рентгенофлуоресцентного метода анализа (сообщение 1)	128
Парамонов Д. Ф., Масакбаева С. Р., Парамонов Ф. П. Использование разбавителя с известными массовыми коэффициентами поглощения при полихроматическом рентгенофлуоресцентном анализе (сообщение 2)	137
Парамонов Д. Ф., Ковтарева С. Ю., Парамонов Ф. П. Использование поваренной соли в качестве разбавителя при анализе чёрных шлаков металлургического производства (сообщение 3)	144
Рындин В. В., Абитова Д. М. Расчёт магистрального нефтепровода по четырём вариантам в системе MATHCAD	153
Тажибай Е. Р., Искаков Е. А., Магаз А. А., Достоева А. М. Сравнительный анализ легирующих добавок применительно к изготовлению термостойких проводов на основе алюминия	163
Хисматуллин А. С., Хасанов Д. С. Исследование теплопереноса в промышленных силовых трансформаторах с элегазовым охлаждением	174
Правила для авторов	182

CONTENT

Azimov A. M., Zhantasov K. T., Sataev M. I., Ortaev A. E., Kaldikozov T. A. Features and regularities of a mechanism of selective extraction of salt ions from water by polyamide membranes	9
Antontsev A. V., Zhumazhanov S. K., Amrenova D. T., Issabekov D. D. Application of image recognition approaches to the automation control system design	18
Gerassimenko T. S. Structure of electric power losses distribution in electric networks and transformers with development of complex events for their decline	23
Zhalmagambetova U. K., Nukenov K. K. The automated drive pipe key provides safe and more effective work	33
Zhapargazinova K. H., Toroschina D. A. The research of the modified water-soluble polymers used as flocculants for wastewater treatment	37
Issabekov Zh. B. The analysis of methods of currents calculations at single phase-to-earth fault in cable networks of 3-10 kV	46
Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markovski V. P., Antontsev A. V. Pulse-width modulation of base vectors in transistor inverter	54
Kislov A. P., Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Shonaev D. T., Kaydar M. B., Markovski V. P., Sharapidenov D. S. Balancing three-phase systems	62
Kislov A. P., Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Shonaev D. T., Kaydar M. B., Markovski V. P., Sharapidenov D. S. Research and quality of additional electrical energy losses in distribution networks of 0.38 kV	72
Kopyrin V. S., Markovski V. P., Shapkenov B. K., Kaydar A. B., Shakhman E. T. Features of differential protection in electrical resistance furnace	83
Lukutin B., Mustafina R., Sarsikeyev E., Surkov M. Optimal ratio determination of installed capacity of wind and diesel generators in an autonomous wind-diesel power supply complex	88
Mendybayev S. A., Baikenova N. B., Krivko L. I., Sadvokasova G. M., Rahimberdinova D. M. Analysis of the main features and characteristics of telecommunications networks	95
Mendybayev S. A., Baikenova N. B., Krivko L. I., Sadvokasova G. M., Rahimberdinova D. M. Pulse code modulator of telecommunications	102

Neftissov A. V., Saduakassova A. D.	
Technical and software analysis of Heat Power Plant-3 for implementation of the automatic system for technical and economic index estimation	108
Nikiforov A. S., Prikhodko E. V., Kinzhibekova A. K., Karmanov A. E.	
Methods of improving energy efficiency in low-power boilers	113
Nikiforov A. S., Prikhodko E. V., Kinzhibekova A. K., Grigoryev O. O.	
Physical modeling of fluidized bed boilers at work on fuel briquettes	121
Paramonov D. F., Massakbayeva S. R., Paramonov F. P.	
Evaluation of the dilution method using X-ray fluorescence analysis	128
Paramonov D. F., Massakbayeva S. R., Paramonov F. P.	
The use of diluent with known weight absorption coefficients at a heterochromatic X-ray fluorescence analysis	137
Paramonov D. F., Kovtareva S. Y., Paramonov F. P.	
The use of salt as a diluent at the analysis of ferrous metallurgical slag	144
Ryndin V. V., Abitova D. M.	
Calculation of the main oil pipeline on four variants in the system MathCAD	153
Tazhibay E. R., Iskakov E. A., Magaz A. A., Dostayeva A. M.	
Comparative analysis of dopants applied to the manufacture of heat-resistant aluminum-based wiring	163
Hismatullin A. S., Khassanov D. S.	
Investigation of heat transfer in industrial power transformers with gas cooling	174
Rules for authors	182

ӨОЖ 66.074

**А. М. Азимов¹, К. Т. Жантасов², М. И. Сатаев³,
А. Е. Ортаев⁴, Т. А. Калдыкозов⁵**

¹PhD докторант; ²т.ғ.д., профессор; ³т.ғ.д., профессор; ⁴т.ғ.к. доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.; ⁵«3-Энергоорталық» АҚ, Шымкент қ.
e-mail: ¹azimov-78@mail.ru; ²k_zhantasov@mail.ru; ³maratsatayev@mail.ru; ⁴ortaev@mail.ru

ПОЛИАМИДТІК МЕМБРАНАЛАРМЕН СУДАН ТҰЗ ИОНДАРЫН СЕЛЕКТИВТІ ТҮРДЕ БӨЛІП АЛУ МЕХАНИЗМІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

Бұл жұмыста мембрана кеуектерінің өлшемдері мен ерітінді рН-ы есебімен полимерлік мембраналардағы тұз иондары ерітінділерінің селективті алу механизм параметрлерін сапалық суреттеу мен сандық анықтауға байланысты міндеттер шешілді. Радиустары 6-7 нм-ден кем емес кеуектері басым бірқатар полиамидты мембраналарда тұз иондарының сулы ерітіндісінің (рН-ы 6,5-7,5) диффузиялану коэффициентінің тәуелділіктері зерттелді. Диффузиялану коэффициенті өзгерісіне тән ерекшеліктер ерітінді рН-ы аралығындағы тұз иондарының мөлшері туралы мәліметтермен салыстырылды. 6,5-7,5 рН кезінде кеуек радиустары 5-8 аралығында болатын мембраналардағы тұз иондарының диффузиялану коэффициенттері мәндерінің тұз иондары үшін де салыстырмалы екендігін атап өткен жөн.

Кілтті сөздер: диффузия, мембраналар, тұзсыздандыру, тұз иондары.

КІРІСПЕ

Мембраналық бөлу және концентрлеу үдерістері суды тұзсыздандыруға арналған конструкциялық және функционалдық материалдарды алу мен өңдеудің шекті технологияларының топтарына жатады. Кері осмотық аппараттарға жұмсартылған суды беру тұз иондарымен мембраналардың ластану мәселесін іс жүзінде шешпейді. Мембраналар дайындалатын материал еріткішке (негізінен суға) қатысты жоғарғы ынтықтыққа және еріген компонентке қатысты төменгі ынтықтыққа ие болуы тиіс. Тандалған

нысандар және зерттеу пәні – полиамид (ПА) бетіндегі су тұздарының диффузиясы – сулы ертінді компоненттерін сенімді түрде мембраналық бөлуді негізге алуға мүмкіндік береді.

ПА мембраналардың бастамалығы мен артықшылықтары мембраналық бөлу кинетикасын талдау негізінде анықталып, ПА негізіндегі мембрана зерттелуші тұзды ертінділерге деген тұрақтылыққа ие болды [1; 2]. Ертіндінің, пермеат пен ретанттың негізгі физика-химиялық сипаттамаларынан шығатын мембраналық тұзсыздандыру селективтігі сипаттамаларының есебі әсер етуші факторлардың көп болуына орай күрделі міндет болып табылады [3].

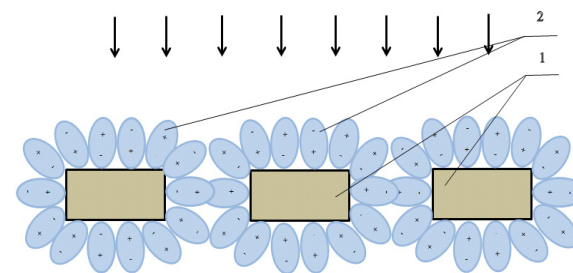
ПА тұздарға қатысты жоғарғы селективтілікке ие болса да, олар арқылы өтетін су ағыны біршама төмен болады. 2,0 – 10 (1-12) рН аралығы кезінде ПА кеуекті құрылымның үлкен өзгеріссіз 100 °С-ге дейінгі өңдеу температурасына шыдап, көп реттік регенерацияға (жандануға) жол ашады, әрі орта рН-ына байланысты көптеген қышқылдар әсеріне төзімді келеді. ПА негізіндегі мембрана 150 мкм-ге дейінгі біршама жоғары қалыңдыққа ие. Мембраналардың осындай қалың қабықшалары массаалмасу жылдамдығының шұғыл төмендеуіне алып келеді. Дегенмен бұл эффект көлем бірлігіне есептегендегі мембраналардың барынша жоғары бетімен толықтырылады: меншікті бет 30000 м²/м³ мәнге дейін жетеді [4, 7, 8].

ПА-мембраналардағы иондардың диффузиялық қозғалғыштығының жалпы алғанда бос ертінділердегімен салыстырғанда, тіпті кеуектердің ауқымды радиустары облысында да төмен екендігі анықталды [1-3, 10]. Кеуектер өлшемдерінің кішіреуі ертіндінің қабырғаман қабағтарындағы иондар қозғалысының қиындауымен байланысты диффузия коэффициенттерінің төмендеуіне алып келеді. Бұл кездегі шекаралық қабат қасиеттерінің көлемдік ертінді қасиеттерінен айырмашылығын полимерлік беттегі судың құрылымдануымен байланыстырады [1-3, 10, 13, 14]. Полимердің беттік ОН-топтарының бағдарлық әсері қабырғаман суының молекулааралық сутектік байланыс торларының қайтақұрылуы мен реттелуіне, молекулалар қозғалғыштығының шектелуіне, шекаралық қабат тұтқырлығының артуына [12, 14], шағын радиусты кеуектердегі судың диэлектрлік өткізгіштігі мен еріткіштік қабілетінің төмендеуіне [13] алып келеді.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

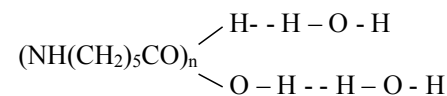
Мембрана материалының кеуектілігін немесе бос көлемін анықтау мембраналық үдерістер кинетикасын анықтайтын маңызды факторлардың бірі болып табылады [3-5]. Сонымен, мембранадағы ішкі диффузия коэффициентін анықтау осы сипаттамаларға тікелей тәуелді [3, 12].

Егер полимерлдік мембрананың бүкіл бос көлемі құрылымдық фермент мембранларының бүкіл құраушы затында біркелкі таралған деп қабылдасақ, онда бір фрагментке келетін бос көлем ұғымын енгізуге болады (1 сурет).



1 – Полимерлік мембрана, 2 – су молекулалары
Сурет 1– Мембраналар бетінде су молекулаларының орналасуы

Сутегі ПА мембраналар бетінде сумен байланысу кезінде сутегі ионын түзеді:



Макромолекулалары белгілі-бір қозғалғыштыққа ие кезектескен фрагменттерден құралған полимерлік мембраналар үшін бос көлемді құрылымның әрбір фрагментіне келетін бос көлемдер қосындысы ретінде анықтауға болады:

$$\bar{V}_f = \sum_i N_i V_{if},$$

мұндағы N_i – көлем бірлігіндегі бөлшектер саны.
Формулань келесі түрде де жазуға болады [3]:

$$\bar{V}_f = \sum_i \varphi_i V_{if},$$

мұндағы φ_i – матрицадағы мембрананы құрайтын макромолекула фрагменттерінің көлемдік үлесі.

Осылайша анықталған, бір құрылымдық фрагментке келетін меншікті бос көлем сол мембрана полимері затының химиялық табиғатына,

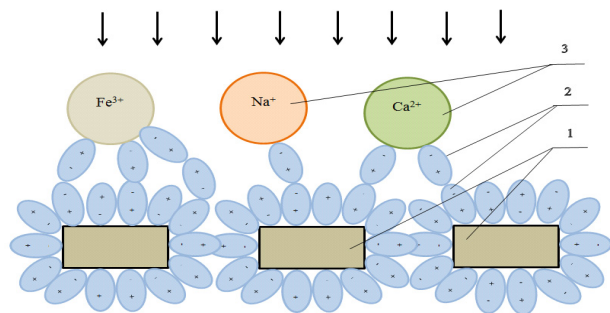
температурасы мен қысымына да, ондағы диффундирлеуші зат табиғатына да тәуелді.

Мембраналық заттың молекулалық массасының мембрана құрылымын анықтайтын матрицаның диффузиялық қасиеттеріне әсерін суреттеу кезінде полимерлік тізбектердің ішкі және ұштық учаскелеріндегі макромолекулалардың байланысу аймақтарында ішкі құрылымның қалыптасу мәселесі бөлек алынуы тиіс.

Мембрананың полимерлік матрицасында макромолекулалар ұйымдасуының екі негізгі тәсілінің бар екендігі белгілі [3, 6-11]. Бірінші жағдайда полимерлік тізбек ұштары бос, ал екінші жағдайда – «тігілген».

Матрицадағы полимерлік тізбектердің бос ұштары жағдайын қарастырайық. Статистикалық физика бойынша бұл жағдайдағы мембрана матрицасы полимерлік тізбектерінің бос ұштық фрагменттерінің жылулық қозғалысын тізбектің негізгі бөлігінің жылулық қозғалысына салыстырмалы түрде тәуелсіз жасалған жылулық қозғалыс ретінде қарастыруға болады.

Сонда тізбектің негізгі бөлігімен ұштық фрагменттердің байланысу типін тұз иондары бар сутектік қосылыс ретінде анықтауға болады деп ұйғарым жасаймыз (2 сурет).



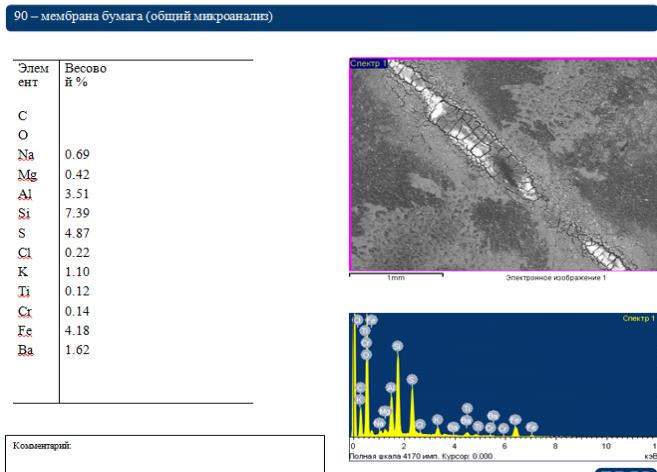
1 – мембраналар, 2 – су молекулалары, 3 – ион элементтері.

Сурет – 2 Мембраналар бетінде су молекулалары мен ион элементтерінің орналасуы

Мембраналық сүзу тиімділігі ертіндінің бөлінетін немесе бөлініп алынатын компоненттерінің диффузиялану коэффициенттерінің мәндерін салыстырумен анықталады [9, 12]. Заттарды суда еріткеннен кейін оның бөлшектерінің: иондарының, молекулаларының, ұсақ ассоциаттары мен мицеллаларының (ірі ассоциаттарының) айналасында гидраттық қабықшалар түзіледі. Яғни болашақта зарядталатын бөлшектердің барлығы олардың айналасында орналасқан судың дипольдік молекулаларын тартуға

немесе бағдарлауға, сондай-ақ судың бастапқы құрылымын айнытуға немесе тіпті бұзуға бет алады. Бұл беталыстың байқалу дәрежесі заряд өлшемі мен бөлшектер конфигурациясына тәуелді. Бұл кезде иондар, полярлық молекулалар мен мицеллалар айналасында судың бағдарланған молекулаларынан тұратын тығыз қабаттан және судың жартылай бағдарланған молекулаларынан тұратын көпсыңқы қабаттан құралған екі қабатты гидраттық қабықша түзіледі. Гидраттық қабықшаның тығыз қабатын құрылымы гидраттанушы бөлшек табиғатына байланысты спецификалық болып табылатын, өзара сутектік байланыстармен байланысқан сулы кластерлерден құралған деп есептеуге болады. Бұл қабат электрлік өріс әсерінен біршама қатаң түрде реттелген, әрі берік болып табылса, ал бұл қабаттағы су молекулалары «қатырылған». Электролиз үдерісінде ол иондармен бірге қозғалады. Салыстырмалы түрде жоғары емес концентрациядағы (0,1-0,5 М) ертінділер үшін жуықталған есептеу жартылай өткізгіш ПА мембраналары кеуектерінің өлшемдерімен өлшенетін 1,5-2,0 нм (15-20 А) екіншілік гидраттық қабықша өлшемін береді. Қабат қалыңдығы ион (бөлшек) зарядының тығыздығымен, яғни ион (бөлшек) заряды шамасының оның диаметріне қатынасымен анықталады. Гидраттық қабықшадағы су молекулалары тіршілігінің орташа уақыты бөлшек табиғатына, еріген заттар концентрациясы мен температураға тәуелді. Мұндай жүйе туындауының (яғни ертіндідегі электролит концентрациясының) шекті шартын сулы ертіндінің толық гидратациялану шекарасы (ТГШ) деп атау қабылданған. Түрлі электролиттер үшін бұл концентрация 2,14-4,63 моль/л аралығында болады.

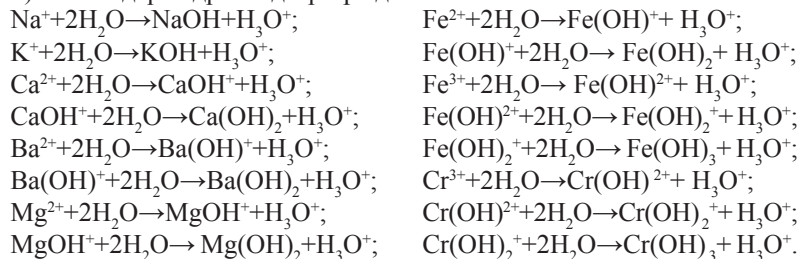
«Энергоорталық-3» АҚ-дағы тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтардан кейін растрлық электронды микроскопта (РЭМ) ПА мембраналар бетіндегі концентраттың мөлшері мен элементтік құрамының орналасуы зерттелді (3 сурет).



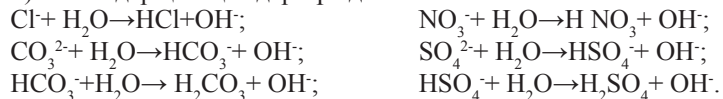
Сурет 3 – ПА мембраналар бетіндегі концентраттың мөлшері мен элементтік құрамының орналасуы

Су құрамындағы тұздардың катиондары мен аниондары әрекеттескен кезде келесі реакциялар жүреді:

1) Катиондар гидроксидтер түзеді



2) Аниондар қышқылдар түзеді



Сулы ертінділерде бөлшектердің болу формасы мен олардың сандық қатынасын бір жақты анықтау іс жүзінде мүмкін емес [5]. рН = 6-7 облысында тұз иондарының негізгі зарядталған формаларының бірлескен

болуы ұйғарылады. Біршама ірі формалардың тұнбаға түсуінің алдын-алу үшін фондық электролиттер қатысында иондар бойынша сұйытылған ертінділермен жұмыс жасау қажет болғанымен, өкінішке орай, бұған мембраналық сүзу бойынша біз қабылдаған эксперимент шарттары жауап бере алмайды. Осыған байланысты біз өлшенуші диффузия коэффициентінің төмендеуімен жүзеге асуы тиіс иондардың (рН жоғарылауымен жүретін) жекелей ди/тримерленуінің массаалмасу параметрлерде көрініс беруіне есептелген 6-7 рН-қа ие тұз иондарының сулы ертінділерінің диффузиясын зерттеумен шектелдік. Осылайша, мембраналардағы диффузияны зерттеу нәтижелері негізінде тасымалданатын жүйелердегі құрылымдық өтулердің жүру мүмкіндіктері туралы пайымдауға болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста мембрана кеуектерінің өлшемдері мен ертінді рН-ы есебімен полимерлік мембраналардағы тұз иондары ертінділерінің диффузиялық тасымалдану параметрлерін сапалық суреттеу мен сандық анықтауға байланысты міндеттер шешілді.

Дегенмен, жалпы алғанда 6,5-7,5 рН кезінде кеуек радиустары 5-8 аралығында болатын мембраналардағы тұз иондарының диффузиялану коэффициенттері мәндерінің тұз иондары үшін де салыстырмалы екендігін атап өткен жөн.

ПА мембраналардағы тұз иондарының анықталған диффузиялану ерекшеліктері (диффузиялану коэффициентінің мембрана кеуектерінің радиусына экспоненциалдық тәуелділігі, рН шамасы) мен алынған мәліметтерді сілтілік-жер металл тұздары үшін бар мәліметтермен салыстыру ПА-мембраналарда оларды бөлу бастамалары мен шарттарын анықтауға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Высоцкий, С. П. Коновальчик, М. В.** Особенности процессов обессоливания воды с использованием мембранных технологий // Вода і водоочисш технологи. – 2009. – № 6-7 (36-37). – С. 29-35.

2 **Абдуллаев, К. М., Агамалиев, М. М., Дадашева, О. О.** О перспективах подготовки добавочной воды котлов и теплосетей ТЭС из минерализованных вод с применением обратного осмоса // Проблемы энергетики. – 2002. – № 4. – С. 40-47.

3 **Дыгтнерский, Ю. И.** Баромембранные процессы. – М. : Химия, 1986. – 272 с.

4 Акужаева, Г. С., Чайка, С. В., Гавронская, Ю. Ю., Пак, В. // Сравнительная характеристика диффузионной подвижности водных растворов солей кальция в мембранах из пористого стекла // ЖПХ. – 2013. – Т. 86. – № 5. – С. 711-714.

5 Лашнев, В. И., Соболев, В. Д., Чураев, Н. В. Вязкость жидкостей в порах разделительных мембран // Теоретические основы химической технологии //1976. – Т. 10. – № 6. – С. 936-930.

6 Виноградов, А. П. Аналитическая химия урана. – М. : Изд. АН СССР, 1962. – 432 с.

7 Кац, Д., Сиборг, Г., Морсе, Л. Химия актиноидов. – М. : Мир, 1999. – Т. 3. – 647 с.

8 Дерягин, Б. В., Карасев, В. В., Хромова, Е. Н. Тепловое расширение воды в тонких порах // Коллоидный журнал. – 1986. – Т. 48. – № 4. – С. 671-672.

9 Мазурин, О. В., Роскова, Г. П., Аверьянов, В. П., Антропова, Т. В. Двухфазные стекла: структура, свойства, применение. – Л. : Наука, 1991. – 276 с.

10 Николаев, И. И. Диффузия в мембранах. – М. : Химия, 1980. – 232 с.

11 Пак, В. Н., Непомнящий, А. Б., Стримова, Е. С. Диффузионный транспорт водных растворов хлоридов щелочных металлов в мембранах из пористого стекла // ЖФХ. – 2007. – Т. 81. – № 3. – С. 558-562.

12 Апель, П. Ю., Коликов, В. М., Кузнецов, В. И., Мчледишвили, Б. В., Потокин, И. Л., Самойлова, Л. И. Пористая структура, селективность и производительность ядерных фильтров с ультратонким селективным слоем // Коллоидный журнал. – Т. 47. – № 4. – С. 772-776.

13 Чураев, Н. В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых средах. – М. : Химия, 1990. 272 с.

14 Юхновский, И. Р., Курьяк, И. И. Электролиты. – Киев : Наукова Думка, 1988. – 166 с.

15 Deryaguin, V. V., Churaev, N. V. Structure of water in thin layers // Langmuir. – 1987. – V. 3. – № 5. – P. 607-613.

Материал 26.05.16 баспаға түсті.

A. M. Azimov¹, K. T. Zhantassov¹, M. I. Sataev¹, A. E. Ortaev¹, T. A. Kaldikozov²

Особенности и закономерности механизма селективного извлечения ионов солей из воды полиамидными мембранами

¹Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент;

²АО «3-Энергоорталык», г. Шымкент.

Материал поступил в редакцию 26.05.16.

A. M. Azimov¹, K. T. Zhantassov¹, M. I. Sataev¹, A. E. Ortaev¹, T. A. Kaldikozov²

Features and regularities of a mechanism of selective extraction of salt ions from water by polyamide membranes

¹M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent;

²«Energoortalyk-3» JSC, Shymkent.

Material received on 26.05.16.

В данной работе решались задачи, связанные с качественным описанием и количественным определением параметров селективного извлечения ионов солей в полимерных мембранах с учетом размеров пор мембран и pH растворов. Исследованы зависимости коэффициента диффузии водного раствора ионы солей (pH 6,5-7,5) в ряду полиамидных мембран с преобладающим радиусом пор менее 6-7 нм. Характерные особенности изменения коэффициента диффузии сопоставлены с данными о содержании ионов солей в различном значении pH раствора. Значения коэффициентов диффузии ионов солей в мембранах с радиусами пор от 5 до 8 нм при pH = 6,5-7,5 в целом соизмеримы для ионов солей.

The paper considers the problems related to the qualitative description and quantitative determination of parameters of selective extraction of salt ions in polymeric membranes taking into account the sizes of the membranous pores and pH of solutions. Dependencies of the salt ions' water solution diffusion coefficient (pH 6,5-7,5) in a number of the polyamide membranes with prevailing pore radius of less than 6-7 nm have been studied. Special features of the diffusion coefficient changes have been compared with data on the content of salt ions in the interval of pH solution. Values of the salt ions' diffusion coefficient in the membranes with the pore radius from 5 to 8 nm at pH = 6,5-7,5 in general are comparable for the salt ions.

**A. V. Antontsev¹, S. K. Zhumazhanov², D. T. Amrenova³,
D. D. Issabekov⁴**

¹master, assistant lecturer, Department of Electrical Engineering and Automation;
²candidate of engineering sciences, associate professor, Department of Electrical Engineering and Automation; ³master, senior lecturer, Department of Electrical Engineering and Automation; ⁴master, senior lecturer, Department of Electrical Power Engineering, S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar

APPLICATION OF IMAGE RECOGNITION APPROACHES TO THE AUTOMATION CONTROL SYSTEM DESIGN

In this paper we have specified some problems revealed within the automation system design applying the traditional methods of operational calculus. We also consider the most common approach of image recognition method application. The basic terms of image recognition theory are considered according to the corresponding concepts of control theory.

Keywords: image recognition, machine learning, automation control systems, fuzzy logic.

INTRODUCTION

Nowadays the methods of automation systems design are predominantly based on differential equations of technological processes and Laplace transform of their expressions. The following analysis of control systems is usually provided in the complex representation form with estimation of stability, observability, controllability and other characteristics. But some specific approaches to control system design and analysis use peculiar methods of control. For example, as shown in [1], there are such methods as:

- differential geometry methods [2] using smooth manifolds, group theory, Lie algebras etc.;
- catastrophe and chaos theory, fractals and other branches of bifurcation theory;
- robust control theory and H_∞ -optimization;
- adaptive system design;
- multi-object and multi-feature system design based on the game approaches;
- smart and self-learning algorithms.

The significance of all these special methods is especially notable in the non-linear systems analysis. It should be said, that majority of technological processes

in modern industry cannot be represented in the precise mathematical form [3]. The calculation of some processes at heat power plants and factories is difficult and laborious, i.e. dust preparation, dust supply, combustion or evaporation. This factor complicates automation system design. Due to this fact, modern control theory and its branches propose newer theoretical possibilities to improve automation control systems, including technological object model simulation, neural and fuzzy control methods etc. The last ones are occasionally merged with other similar methods into the image recognition approach based on the theory of the same name.

MAIN PART

First of all we'll give some basic concepts, ideas and terms of image recognition theory [4]. Image recognition is the branch of science aimed on object classification into a variety of categories and classes. Such objects are called «images». In most cases classification is based on precedents. A precedent is an image, whose class is accurately unknown. It also refers to a classified object applied as a sample in classification problem solution.

Features are the measurements used for image classification. Feature is any numerical dimension of an object of arbitrary nature. A variety of features is called a feature vector when it related to one image. Specified object features are used to solve a classification problem, but there is another term for the classification rule. Classifier or solving rule is a rule of matching an image to one of the defined classes based on its feature vector. Thus, main steps in image recognition system design can be defined as shown at Fig. 1.

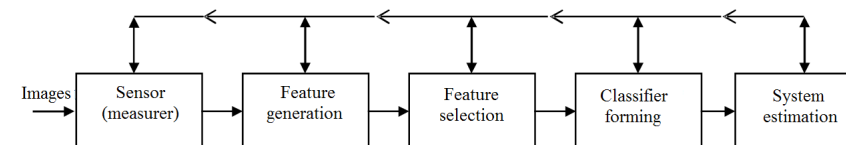


Figure 1 – Basic elements of image recognition system design

Most commonly within classification system design the following problems should be solved:

- Feature generation problem. There should be selected a variety of the most significant features describing an image with sufficient details.
- Feature selection problem. It's selection of the most informative features for classification.
- Classifier solving problem. This problem includes selection of a solving rule of matching objects to one or another class of objects.

– Numerical estimation of a system (selected features + classifier). This problem should be solved from the point of view of correct or incorrect classification.

We also should use a corresponding mathematical description of classification problem to consider it properly. So we'll assume the following designations.

Ω – a set of the recognition objects (an image space).

$\omega: \square \in \Omega$ – a recognition object (an image).

$g(\omega): \Omega \rightarrow M, M = \{1, 2, \dots, m\}$ – an indicator function splitting an image space Ω into m disjoint classes $\Omega^1, \Omega^2, \dots, \Omega^m$. An indicator function is unknown for an observer.

X – an observation space perceived by an observer (a feature space).

$x(\omega): \Omega \rightarrow X$ – a function matching each object ω to a point $x(\omega)$ in the feature space. $x(\omega)$ vector is an image of an object perceived by an observer. In the feature space disjoint sets of points $K_i \subset X, i = 1, 2, \dots, m$ are specified corresponding to images of one class.

$\hat{g}(x): X \rightarrow M$ – a solving rule, representing an estimation for $g(\omega)$ based on $x(\omega): \hat{g}(x) = \hat{g}(x(\omega))$.

Let $x_j = x(\omega_j), j = 1, 2, \dots, N$ be an available information for an observer on the $g(\omega)$ and $x(\omega)$ functions, but these functions are unknown for an observer. Then $(g_j, x_j), j = 1, 2, \dots, N$ is a precedent set (Fig. 2).

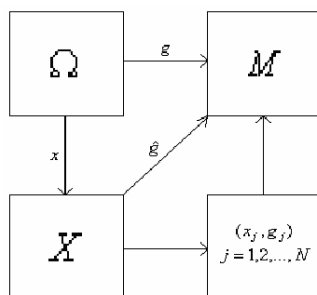


Figure 2 – Formal description of classification problem

Thus, the problem is to form the solving rule $\hat{g}(x)$ to recognize images with minimal number of errors. An ordinary case is to assume that a feature space is Euclidian, i.e. $X = R^l$. The quality of a solving rule is measured due to the frequency of correct solutions. It is usually estimated through assignment of an object set Ω to any probability measure. So the problem is describes as following: $\min P\{\hat{g}(x(\omega)) \neq g(\omega)\}$.

If we consider some real examples from industry practice, we'll see that many problems can be described in this way, using the given form [5, 6]. There

will be considered only a small part of automated processes, but it will be enough to demonstrate the main idea of thinking through the image recognition pattern.

Suppose we have a temperature control system. For this system the main parameters and variables of mathematical model could be represented as following:

– Ω is a set of possible values of temperature (to simplify the consideration there's no need to take into it a range of real numbers, because an array of determined integer values will be enough).

– ω is a particular value of temperature belonging to Ω .

– $g(\omega)$ is a splitting function. Assume that there are three necessary classes in our task. It should be noticed that their concrete number actually depends on requirements to the designed system. We may determine the classes due to solved problem and consider the following classes: low, normal and high temperature (Ω^1, Ω^2 and Ω^3 , correspondingly). According to this representation we should determine some bounds among the classes, i.e. in this way:

$$g(\omega) = \begin{cases} \text{low, if } T < T_{\text{threshold1}} \\ \text{normal, if } T_{\text{threshold1}} < T < T_{\text{threshold2}} \\ \text{high, if } T > T_{\text{threshold2}} \end{cases}$$

However, this pretty simple description of the splitting function gives a precise rule of temperature value distribution among the existing classes.

– X is the observation space depending on measurement tools. It could be a set of output sensor signals or a variety of an observer's perceptions, etc.

– $x(\omega)$ is a law or a rule matching each sensor signal to corresponding temperature,

– $\hat{g}(x)$ is a solving rule matching each sensor signal to corresponding class of temperature. It's the main thing of the whole classification algorithm, because it sets efficiency of the algorithm at all. Depending on the solving rule meanings a control algorithm or a controller can make a decision on the state of controlled parameter and ways to control them.

CONCLUSION

The basic concepts described above allow us to conclude that image recognition theory provides a wide range of approaches and methods to classify main features of an automation control system for better control efficiency and performance at all. This approach represents the new paradigm of automation system analysis and design.

1 Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т. 3: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 748 с., ил.

2 **Croush, P. E.** Spacecraft attitude control and stabilization: applications of geometric control theory to rigid body models // IEEE Trans. Aut. Cont. – 1984. – Vol. 29. – № 4. – p. 321-331.

3 **Новиков, С. И., Шахнович, В. Р., Сафронов, А. В.** Методы нечеткой логики в задачах автоматизации тепловых процессов электростанций. Иваново: «Вестник ИГЭУ». 2010. вып. 4.

4 **Местецкий, Л. М.** Математические методы распознавания образов. Курс лекций. – М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2004. – 85 с., ил.

5 **Антонцев, А. В.** Перспективы применения методов машинного обучения в задачах цифровой обработки сигналов // Вестник ПГУ. Серия Энергетическая. – №4. – 2015.

6 **Новожилов, А. Н., Антонцев, А. В., Крюкова, Е. В., Исупова, Н. А., Новожилов, Т. А.** Диагностика эксцентриситета ротора электрической машины переменного тока с использованием искусственных нейронных сетей // Вестник ПГУ. Серия Энергетическая. – №1. – 2013.

Material received on 19.05.16.

А. В. Антонцев, С. К. Жұмажанов, Д. Т. Амренова, Д. Д. Исабеков

Бейнелерді танып білу теориясының әдістерін автоматты басқару жүйелерді жоспарлау үшін пайдалану

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 19.05.16 баспаға түсті.

А. В. Антонцев, С. К. Жұмажанов, Д. Т. Амренова, Д. Д. Исабеков

Применение методов теории распознавания образов к проектированию систем автоматического управления

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 19.05.16.

Осы мақалада автоматтық басқару жүйелерді дәстүрлі әдістерлері көмегімен жоспарлаған кезде негізгі проблемалар

қарастырылып жатыр. Бейнелерді танып білу әдістерді пайдалану ең танымал тәсілі еске алынған. Бейнелерді танып білу теориясының негізгі ұғымдарын автоматтық басқару теориясының ұқсас концепцияларымен салыстырып қарастырылған.

В данной статье рассматриваются основные проблемы, выявляемые при проектировании систем автоматического управления с применением традиционных методов операционного исчисления. Указан наиболее распространенный подход к применению методов распознавания образов. Рассматриваются основополагающие понятия теории распознавания образов в сопоставлении с аналогичными концепциями теории автоматического управления.

УДК 621.3.017.6 (045)

Т. С. Герасименко

к.т.н., Казахский Агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана
e-mail: melary-5@mail.ru

СТРУКТУРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ТРАНСФОРМАТОРАХ С РАЗРАБОТКОЙ КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ

В статье приведен подробный анализ потерь электрической энергии, которые возникают при ее распределении и потреблении, а также предложены рекомендации для минимизирования данных потерь в электрических сетях и потребительских трансформаторах.

Ключевые слова: потери электрической энергии, несимметрия напряжений, технологические коммерческие потери.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений развития науки и техники, утвержденных президентом Республики Казахстан являются технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии [1].

Если провести структурный анализ потерь в таких сферах как производство, распределение и потребление электрической энергии, то можно заметить, что определяющая доля потерь приходится на сферы энергопотребления и энергопередачи, причем по оценкам некоторых отечественных специалистов потери при передаче электроэнергии составляют по стране в среднем 15 % [2], хотя согласно ГОСТу они не должны превышать 5 % [3].

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, кризисные явления в стране в целом и в энергетике, в частности, отрицательным образом влияют на такой важный показатель энергетической эффективности передачи и распределения электроэнергии, как её потери в электрических сетях. Потери электроэнергии в электрических сетях – важнейший показатель экономичности их работы, наглядный индикатор состояния системы учета электроэнергии, эффективности энергобытовой деятельности энергоснабжающих организаций.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – сложная комплексная проблема, требующая значительных капитальных вложений, необходимых для оптимизации развития электрических сетей, совершенствования системы учета электроэнергии, внедрения новых информационных технологий, обучения персонала и его оснащения средствами поверки средств измерений электроэнергии и т.п.

Сверхнормативные потери электроэнергии в электрических сетях – это прямые финансовые убытки электросетевых компаний. Экономии от снижения потерь можно было бы направить на техническое переоснащение сетей; увеличение зарплаты персонала; совершенствование организации передачи и распределения электроэнергии; повышение надежности и качества электроснабжения потребителей; уменьшение тарифов на электроэнергию.

В результате слабого государственного регулирования энергосбережения страдает энергетика, экология, бюджет и, что самое важное, страдает население из-за неподъемных тарифов, цен на товары и услуги. При этом располагаемый потенциал энергосбережения республики, как по тепловой, так и по электрической энергии составляет 25-30 %. Для реализации потенциала энергосбережения необходимо выполнить целый комплекс работ по основным направлениям [2].

Основные решения в областях электроснабжения и электрооборудования, которые принимаются на стадии проектирования предприятия, в значительной степени определяют эффективность использования

электроэнергии в производственном процессе. Эффективность работы системы электроснабжения зависит от правильного определения расчетных нагрузок на различных ее уровнях и выбора номинальных напряжений внешнего и внутреннего электроснабжения, числа трансформаций электроэнергии, количества и мощности силовых трансформаторов на подстанциях, способов передачи электроэнергии, построения схем электрических сетей, уровня компенсации реактивной мощности и степени автоматизации учета и контроля расхода электроэнергии.

Электрические потери подразделяются на постоянные и переменные. К постоянным потерям относятся: потери в стали (в магнитопроводе силовых трансформаторов). Переменные потери можно условно разделить на две зоны – это технологические потери, обусловленные технологическим процессом передачи и распределения электрической энергии; и коммерческие, обусловленные инструментальным учетом ее поступления и отпуска. К переменным технологическим потерям относятся потери в обмотках силовых трансформаторов, а также потери в проводниках кабельных и воздушных линий, которые зависят от тока нагрузки и потери вызванные несимметрией нагрузок.

К коммерческим потерям относятся: погрешности измерений электроэнергии в нормальных условиях; влияние на прибор магнитных и электромагнитных полей различной частоты; недостаточную чувствительность счетчиков при малых нагрузках; сверхнормативный срок службы оборудования; неисправность приборов учета; неправильной подключение счетчиков. Коммерческие потери также ярко отображают воздействие «человеческого фактора»: сознательное хищение электроэнергии некоторыми абонентами с помощью изменения показаний счетчиков, потребление энергии помимо счетчиков; неуплату или неполную оплату показаний счетчиков; ошибки при записи показаний; нарушение графиков обхода счетчиков.

Если смотреть в процентном отношении от фактической суммарной активной мощности электроприемников сети, то распределение потерь выглядит следующим образом (рисунок 1).

Из диаграммы видно, что львиная доля всех потерь составляет переменные потери, особенно в линиях электропередач [4].

Превышение нормативной величины переменных потерь свидетельствует о: перегрузке сетей; неверном выборе сечения кабельных и воздушных линий, так как завышенная мощность подключенных электроприемников при неправильном выборе сечения питающих сетей способствует увеличению теплового нагрева проводников; а так же завышенной протяженности линий электропередач, так как завышенная длина и заниженное сечение

линий увеличивает величину падения напряжения и вследствие потерь электроэнергии. Превышение же нормативной величины мощности постоянных потерь говорит о недогрузке силовых трансформаторов, вследствие чего процент собственного потребления электрической энергии трансформаторами увеличивается.

Одним из важных является показатель, который вызывает дополнительные потери в сетях и трансформаторных подстанций это несимметрия напряжений вследствие несимметричной нагрузки.

Наличие однофазной нагрузки, однофазных и трехфазных ответвлений от трехфазных линий 0,4 кВ вызывает в трансформаторах потребительских ТП и линиях напряжения обратной и нулевой последовательностей и связанные с ними потери мощности.

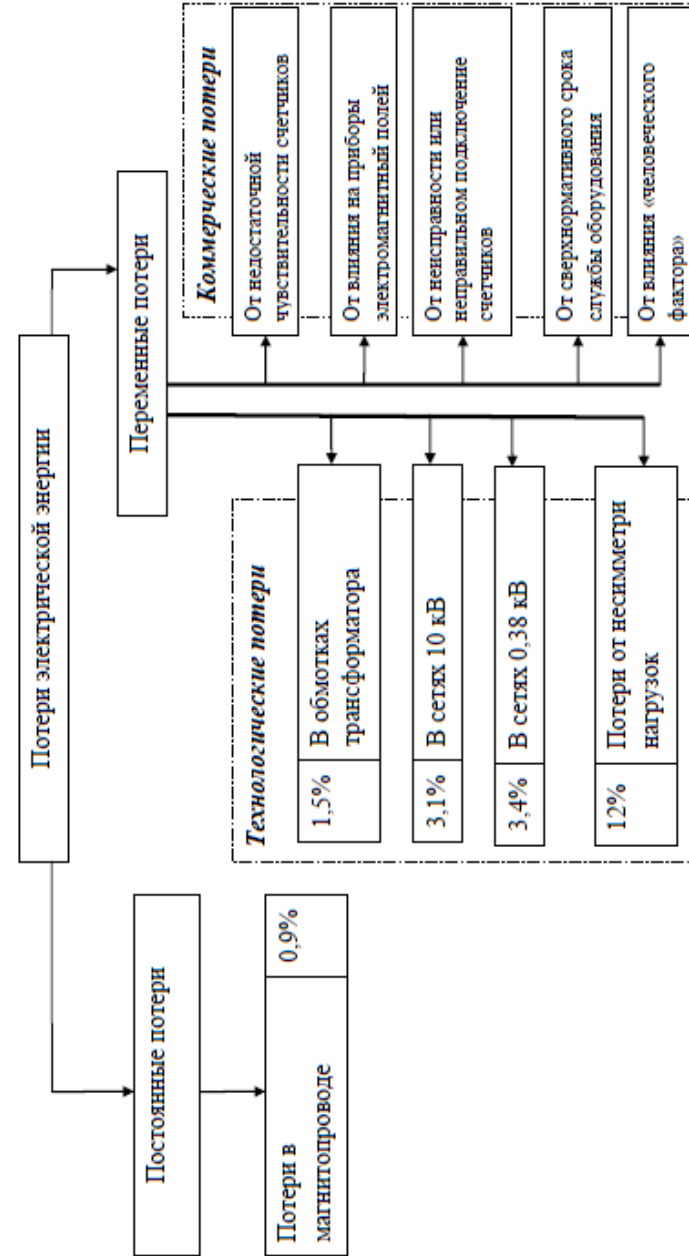


Рисунок 1 – Структура распределения потерь электрической энергии с процентным соотношением

Эти потери являются дополнительными к основным потерям мощности от напряжений прямой последовательности.

Несимметрия трехфазной системы напряжений возникает в результате наложения на систему прямой последовательности напряжений системы обратной последовательности, что приводит к изменениям абсолютных значений фазных и междуфазных напряжений (рис. 2а). Помимо несимметрии, вызываемой напряжением системы обратной последовательности, может возникать несимметрия от наложения на систему прямой последовательности напряжений системы нулевой последовательности. В результате смещения нейтрали трехфазной системы возникает несимметрия фазных напряжений при сохранении симметричной системы междуфазных напряжений (рис. 2б) [5].

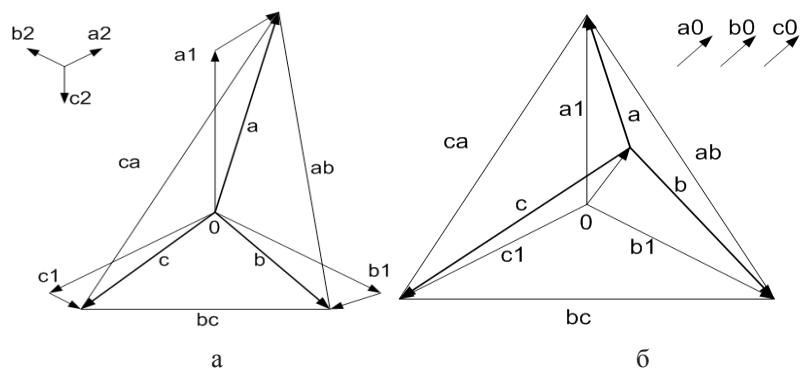


Рисунок 2 – Векторная диаграмма: а – напряжений прямой и обратной последовательности; б – напряжений прямой и нулевой последовательности.

Наиболее распространенными источниками несимметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения являются такие потребители электроэнергии, симметричное многофазное исполнение которых или невозможно, или нецелесообразно по технико-экономическим соображениям. К таким установкам относятся индукционные и дуговые электрические печи, тяговые нагрузки железных дорог, выполненные на переменном токе, электросварочные агрегаты, специальные однофазные нагрузки, осветительные установки.

В настоящее время наблюдается рост количества и единичной мощности однофазных электроприемников (стиральные машины, нагревательные приборы и т.д.). Причем время их включения непредсказуемо, что в принципе исключает возможность наличия одинаковой нагрузки всех трех фаз. Этот

факт подтверждают исследования проведенные в многоквартирном доме в котором к каждой фазе присоединено практически одинаковое количество квартир: некоторые отрезки времени нагрузки отдельных фаз отличаются друг от друга в три раза [6]. Соответственно, в три раза будут отличаться падения напряжений в питающей сети, что может привести к несоответствию напряжений ГОСТ 13109-97, регламентирующему установившееся отклонение напряжения с 95 %-ой вероятностью, не превышающее +5 % от номинального напряжения [3]. А это значит, что если в течение времени наблюдения (не менее 24 часов) суммарное время выхода напряжения за указанные пределы составит более 72 минут, то потребляемая электроэнергия не соответствует нормированным показателям качества.

Основной задачей расчета и анализа потерь является определение их детальной структуры, выявление конкретных очагов потерь и оценка возможностей их снижения до экономически оправданных значений. По каждому виду потерь возможны специальные мероприятия для сведения их к минимуму.

Мероприятия по устранению потерь электрической энергии

Постоянные потери, то есть потери в магнитопроводе трансформатора происходят из-за систематического перемагничивания магнитопровода переменным магнитным полем. С целью минимизации этих потерь магнитопровод трансформатора выполняют шихтованным из тонколистовой электротехнической стали. Однако со временем, в связи с длительной эксплуатацией трансформатора эти потери могут увеличиться вследствие старения ферромагнитного материала. Поэтому для устранения этой составляющей потерь рекомендуется эксплуатировать потребительские трансформаторы в соответствии с их сроком службы который составляет не менее 25-30 лет. Однако при правильном техническом обслуживании срок службы масляного трансформатора может достигать 50-60 лет.

Мероприятия с целью уменьшения электрических потерь в сетях 0,38-10 кВ сводятся к следующему:

- правильный выбор сечений линейных проводов линий, в первую очередь, на головных участках магистральных линий. Рекомендуется при возможности увеличивать сечения проводов головных участков (в том числе линий 0,4 кВ);
- рациональное построение сети, прежде всего уменьшение протяженности линий напряжением до 1 кВ;
- изменение числа участков разветвленных линий; переход на систему «глубокий ввод» 10/0,4 кВ с целью снижения длины линий 0,38 кВ;

- замена марки изношенных (перегруженных) проводов; изменение длины линий;
- отключение старых или подключение новых линий к распределительным трансформаторам (РТ);
- правильный выбор точек разреза, т. е. мест деления на две части линий с двусторонним питанием.

Основные способы снижения технологических потерь в обмотках трансформатора заключаются в следующем:

- Правильный выбор силовых трансформаторов ТП (в нормальном максимальном режиме трансформаторы должны быть загружены примерно на 70 %).
- Уменьшение числа включенных ненагруженных и слабозагруженных силовых трансформаторов;

Для уменьшения потерь от несимметрии фазных напряжений необходимо:

- Симметрирование нагрузок по фазам на линиях напряжением до 1 кВ, которое может быть достигнуто за счет увеличения сечения нулевых проводов линий напряжением до 1 кВ (сечения линейных и рабочих нулевых проводов целесообразно иметь равными). Уже на стадии проектирования сельских ВЛ 0,38 кВ следует предусматривать установку нулевого провода такого же сечения, как у фазного. Так как разница в стоимости проводов при переходе от одного сечения к следующему большему и стоимость монтажных работ по подвеске 1 км провода примерно одинаковы. Стоимость же годовых потерь электроэнергии до замены нулевого провода в полтора раза больше затрат по замене провода на ближайшее большее сечение.

• Применение для распределения электрической энергии на стадии проектирования трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Z_n , так как трансформаторы данного вида не чувствительны к несимметричной нагрузке. Если это не представляется возможным, то установка симметрирующих устройств на эксплуатируемые трансформаторы с большим коэффициентом несимметрии. К таким устройствам можно отнести: трансформаторное симметрирующее устройство (ТСУ), фазопреобразовательные устройства, устройства для компенсации реактивной мощности. Из более экономичных и доступных средств уменьшения потерь от несимметрии напряжений служат: установка на активную часть трансформатора компенсационной обмотки или замена стального бака трансформатора на алюминиевый [7, 8].

На стадии внедрения мероприятий по снижению коммерческих потерь электроэнергии необходимо очень важное значение уделить так называемому человеческому фактору, а именно: необходимо обучение и повышение квалификации персонала; осознание персоналом важности для предприятия

в целом и для каждого его работника эффективного решения поставленной задачи; мотивация персонала, моральное и материальное стимулирование; связь с общественностью, широкое оповещение о целях и задачах снижения коммерческих потерь, ожидаемых и полученных результатах.

ВЫВОДЫ

Основной задачей электроэнергетических систем и сетей является обеспечение потребителей электрической энергией, а ее рациональное использование требует экономного производства, транспортировки и распределения с минимальными потерями. В Казахстане за последние 10 лет наметилась устойчивая тенденция роста потерь, что влечет, наряду с другими факторами, рост тарифов. В условиях рыночной экономики в стоимость электроэнергии включают ее потери. Соответственно, все факторы, которые могут привести к потерям в электросетях, должны быть минимизированы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Назарбаев, Н. А. Казахстан 2030. Процветание, безопасность и улучшение благосостояния всех казахстанцев. Послание Президента страны народу Казахстана// Акмолинская правда. – 1997, октябрь – 14. – С. 32.
- 2 Истомин, Ю. О. Некачественная электроэнергия должна стоить дешевле//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 9.
- 3 ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – М. : Изд-во стандартов, 1999.
- 4 Методические указания по расчету потерь в электрических сетях, для составления ежемесячного баланса предприятия по потреблению электрической энергии [Электронный ресурс]. – www.electrinpho.ru
- 5 Ланцов, А. Показатели качества электрической энергии [Электронный ресурс]. – www.e-audit.ru.
- 6 Бородин, И. Ф. Потери электроэнергии в сельских сетях и пути их снижения //Техника в сельском хозяйстве. – 2002. – № 1.
- 7 Шпилько, Ю. Е. Улучшение эксплуатационных характеристик сельских и коммунально-бытовых сетей//Вестник науки Акмолинского с.-х. института. –1996. – № 5.
- 8 Шпилько, Ю. Е. Герасименко, Т. С. Улучшение эксплуатационных характеристик трансформаторов, имеющих схему соединения обмоток звезда-звезда с нейтральным проводом // Вестник науки Казахского государственного агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – № 1. – том V. – 2006. – С. 279-286.

T. C. Герасименко

Электр желідегі электрэнергияның бағындық ағынның жоғалуы және трансформатордағы жинақталған кешенді іс-шараның азаюы

С. Сейфуллин атындағы
Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ.
Материал 16.06.16 баспаға түсті.

T. S. Gerassimenko

Structure of electric power losses distribution in electric networks and transformers with development of complex activities for their decline

S. Seifullin Kazarh Agro Technical University, Astana.
Material received on 16.06.16.

Мақалада тұтыну трансформаторларында және электр желілеріндегі электр жоғалу мәліметтерін азайту бойынша ұсыныстар келтірілген және оларды тарату және тұтыну кезінде пайда болатын электрлік энергиясының жоғалуының толық талдауы қарастырылған.

The article gives the detailed analysis of electric energy losses, that arise at its distribution and consumption, and also offers recommendations for minimization of these losses in electric networks and consumer transformers.

У. К. Жалмағамбетова¹, К. К. Нуkenov²

¹аға оқытушы, ²студент, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
e-mail: ²nukenov_kuanysh@mail.ru

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖЕТЕКТІ ҚҰБЫР КІЛТІ ҚАУІПСІЗ ЖӘНЕ НЕҒҰРЛЫМ ТИІМДІ ЖҰМЫСПЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТЕДІ

Бұл мақалада автоматтандырылған жүйе гидравликалық құбырлық кілтпен сипатталған.

Кілтті сөздер: гидравликалық құбыр кілт, сорғы-компрессор құбыр, басқару сабы, шеген.

КІРІСПЕ

Қазіргі кезде мұнай компаниялары бұрғылау алаңында жарақаттық деңгейін қысқарту үшін жұмыс ортаны қауіпсіз жасауға бағытталған автоматтандырылған жүйені қолданады. Шеген және сорғыш-компрессорлық құбырлар процесі басқарылмайтын құбырлық кілт жетегі қауіпсіз әдіс жұмысын іздейтін мұнайлық қызмет көрсету компаниялар мұқият сынақ өткізеді.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Құбыр кілт – болат құбырларын монтаждау және бөлшектеу жұмыстарға арналған өте ыңғайлы құрал. Мұндай құрал кілттің тербелетін жоғарғы бас көмегімен құбырды сенімді қолға түсіруді қамтамасыз етеді. Сонымен қатар диаметрі үлкен құбырлармен жұмыс істеу ыңғайлығы зор.

Жүйе гидравликалық телескопиялық құбырды немесе икемділігін қамтамасыз ету үшін бірнеше монтаждау нүктелері бар жасанды қол білдіреді. Жүйе құрамына гидравликалық энергия көзі және қашықтықтан басқару панелі кіреді. Қолы кронштейннің көмегімен мұнараның ішінде бекітіледі. Оның көмегімен 10-15 минут ішінде бүкіл жүйенің монтаж немесе демонтаж жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Кілтті ортадан жақындатуға немесе алыстатуға бір жұмысшы жеткілікті.

Гидравликалық энергия клапан қатары арқылы күштік цилиндрге беріледі. Олар кілттің жақындату және алыстату жылдамдығын басқарады, сонымен қатар цилиндрмен дамытылған күшті реттейді. Гидравликалық

энергия көзі уақытша үлгі ретінде гидравликалық орнату қызмет ету мүмкін. Әдетте, шегендік құбырлардың кілттің қорегіне немесе бұрғы орнатқыштың гидравликалық жүйенің қорек көзіне жеткізіледі.

Бір оператор кілтке орнатылған басқару сабының көмегімен гидравликалық басқарудың қашықтықтан клапанға әсер етеді. Басқау сабы жағдайға байланысты әр түрлі жылдамдықпен операторға кілтті жақындатуға немесе алыстатуға мүмкіндік береді. Мұндай икемділік жұмыс барысында операторға бұрап алу немесе бұрап шығару бұрғылау колонна үшін кілтті керек күйге орнатуға кепілдік береді.

Одан әрі икемділік жеке астыңғы кілттің болуының қамтамасыз етеді. Диаметрі 20-ға дейін құбырларға қолдануға болады. Осылайша құбыр коллоналарды ұстайтын тростарды қолдану қажеттілігі жойылады. Күштік және қолдаушы кілттің арасында өзара байланыс кілтті керек деңгейде ілуге мүмкіндік береді.

Жүйе статикалық аспаны қолданады және бұрғылау негізінде үлкен емес күш жібереді. Сондықтан жүйе орнатқышты ұқыпсыз рәсімге айналдырады. Қосалқы шығыр қолданудың арқасында, ортақ жүк көтергіштігі айтарлықтай көтеріледі.

Алыстату кілттің құрылғының мөлшері 2 м, ал ықтимал динамикалық барысы 4 м, құрайды. Алмалы-салмалы адаптерлер ұңғыманың ортасынан 7 м қашықтықта монтаждық нүктелерде жүйені бекемдеуді мүмкіндік береді.

Жүйе әр түрлі манипуляцияларды орындауға рұқсат беріледі, тіпті, кілт диапазонның сыртта жұмыс істеуі тиіс. Мысалы, егер орнатқыш тікқазбаның үстінен жұмыс істеуі тиіс болса, онда арнайы жинағышқа екі штифт алып тастау жолымен бекіткіш кронштейннің үзілуі оңай болады. Сондықтан тростың шығырға қосылуының және аспаның тросы операцияны қауіпсіз және жылдам жүзеге асыруға болады [1, 72].

Қоршаған ортаның ерекшеліктерін ескере отырып, бұл жағдайда жүйе өзгереді автоматтыңдырылған жүйені неғұрлым сенімде деп санауға болады, өйткені оның ішінде электрлік ажыратқыштар қолданбайды. Ол сондай-ақ жабдықтарға жарылыс қаупі бар ортада жұмыс істейтін жабдықтарға қойылатын талапты қанағаттандырады.



Сурет 1 – Жетекті гидравликалық құбыр кілтті

Жетекті гидравликалық құбыр кілтті басқару моментінің жетекті құбыр кілтінің бұрып алу және ағушылықтың болуымен құбырлардың байланыс басқару көрсеткіштермен жабдықталған.

Құбырларды бұрып алу нақты бақылау сапасын жүзеге асыру үшін көрсеткіш құбырдың бұрышын, айналу уақытын және 1 минутта айналу санын бақылайды. Сонымен қатар зақымданулар немесе ақаулардың болуын анықтау. Құбырдың бұрып алуы ұңғымада апаттық жағдайға әкелмес үшін құбыр болат баспайтын немесе шыныдан жасалу керек. Құбыр байланыста ағушылықты табатын көрсеткіш жылыстауын саладағы ықшам және тиімді болып табылады. Үрлемелі құрылымының бақылауда негізделген, ол тіпті, мұндай аздық ағыпты 0,003 куб. м/жыл анықтау қабілеті бар.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада біз жетекті құбыр кілттің әрекет ұстанымын ұсындық. Жетекті кілттің пайдалану нәтижесінде шеген және сорғы-компрессорлық құбырлармен жұмыс істеу кезінде неғұрлым қауіпсіз ортаны қамтамасыз ететін көз жеткіздік.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Нефтегазовые технологии: научное издание[Текст] / Н. Гордон. – Наука, 2002. – 90 с.

У. К. Жалмагамбетова, К. К. Нукенов

Автоматизированный приводной трубный ключ обеспечивает безопасную и более эффективную работу

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 28.04.16.

U. K. Zhalmagambetova, K. K. Nukenov

The automated drive pipe key provides safe and more effective work

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 28.04.16.

В этой статье мы представили принцип действия приводного трубного ключа. В результате использование приводного ключа для работы обеспечило намного более безопасные условия во время работы с обсадными и насосно-компрессорными трубами.

In this paper we presented the principle of action of the drive pipe key. As a result, the use of the drive key provided far more safe terms during work with lining and pump-compressor pipes.

К. Х. Жапаргазинова¹, Д. А. Торощина²

¹к.х.н., профессор; ²магистрант, Павлодарский государственный университет имени Торайгырова, г. Павлодар
e-mail: dt1719@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ В КАЧЕСТВЕ
ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ**

Данная статья посвящена определению основных коллоидно-химических свойств полимерных флокулянтов и актуальности их использования для очистки сточных вод.

Ключевые слова: водорастворимые полимеры, флокулянты, полиакриламид.

ВВЕДЕНИЕ

Отходы крупных промышленных предприятий, такие как сточные воды, являются источниками загрязнений как подземных, так и поверхностных вод, попадают в почву, самоочищение которых происходит длительное время или вообще не подлежит очистке. Коагулянты и флокулянты применяются для очистки промышленных сточных и природных вод от взвешенных и коллоидно-дисперсных веществ. При этом одновременно снижается цветность, бактериальная загрязненность, а в отдельных случаях запахи и привкусы воды. Очищенные сточные воды используют преимущественно в оборотном водоснабжении промышленных предприятий.

Для регулирования устойчивости дисперсных систем в последнее время все шире применяются различные водорастворимые полимеры, весьма малые добавки которых могут радикально изменить стабильность дисперсий. Это широко используется при очистке природных и промышленных сточных вод от дисперсных примесей, концентрировании и обезвоживании суспензий, для улучшения фильтрационных характеристик осадков и структуры [1].

Высокомолекулярные вещества – чрезвычайно эффективные флокулянты дисперсных систем, приводящие к снижению агрегативной и седиментационной устойчивости дисперсий.

Применение флокулянтов является одним из существенных факторов интенсификации процессов очистки воды от коллоидно-дисперсных веществ. Они ускоряют хлопьеобразование, осаждение хлопьев, увеличивают

плотность коагулянта и степень осветления воды. В осветлителях со взвешенным осадком флокулянты способствуют увеличению содержания частиц во взвешенном слое и уменьшению выноса взвесей из него, что стабилизирует работу аппаратов и повышает их производительность. Улучшаются адгезионные свойства коагулированной взвеси и фильтрата (очищаемой воды), увеличивается скорость фильтрования, сокращается расход воды на промывку, повышается грязеемкость фильтров, а также увеличивается производительность отстойников, осветлителей, фильтров, центрифуг и другого оборудования, используемого для разделения жидкой и твердой фаз.

В Республике Казахстан не удовлетворяются потребности в ВРП, что вызывает необходимость исследований по получению и разработке технологии новых ВРП, способных интенсифицировать технологические процессы, решая одновременно экономические, социальные и экологические вопросы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

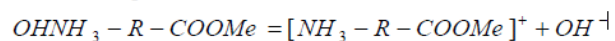
В данной работе, флокулянты используются главным образом для снижения устойчивости дисперсных систем и достижения в конечном счете, разделения фаз зелей, суспензий, эмульсий.

Для флокуляции использовались водорастворимые полиэлектролиты (ВРП) (условно названные М-ПАА (МЭА), М-ПАА (ТЭА), М-ПАА (ПВ)) полученные путем гидролиза полиакриламида в щелочном растворе.

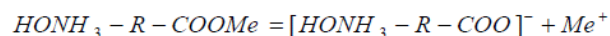
Флокулянты – реагенты, способствующие коагуляции. Флокулянты с их зарядом и очень высокой молекулярной массой, адсорбируют дестабилизированные частицы и объединяют их вдоль полимерной цепи. В результате, на этапе флокуляции происходит образование более крупных хлопьев, что приводит к уплотнению осадка.

Флокулянты могут быть объединены в 3 отдельные категории: неионогенные, анионные, катионные. Неионогенные марки флокулянтов представляют собой технически чистый полиакриламид. Его вырабатывают путем сополимеризации моноакриламида и солей акриловой кислоты. Являясь амфотерным полиэлектролитом, ПАА способен диссоциировать в зависимости от pH среды, по кислотному и по основному типу:

в кислой среде



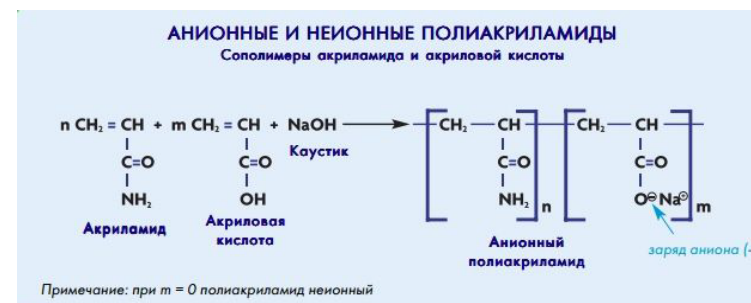
в щелочной среде



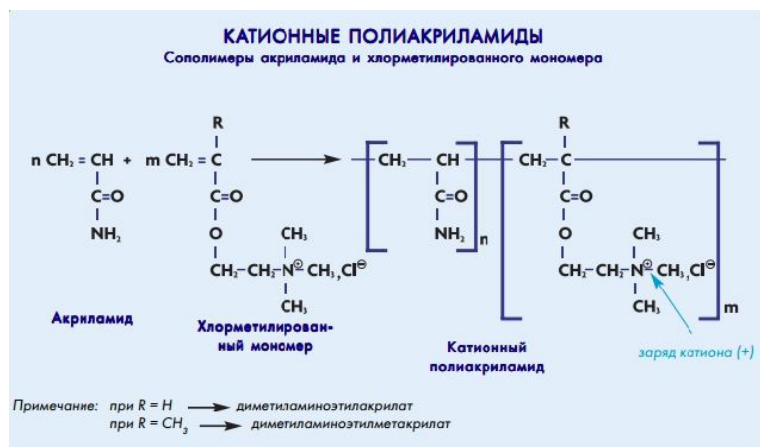
где R – углеводородная цепочка молекулы ПАА

При значениях pH, соответствующих изоэлектрическому состоянию, молекулы ПАА, оставаясь в целом электронейтральными, содержат одновременно положительно заряженные и отрицательно заряженные ионогенные группы. В результате взаимодействия заряженных групп молекулы ПАА в нейтральной среде сворачиваются в клубок, захватывая коллоидные примеси, а в кислой и щелочной среде вытягиваются в цепочку, также захватывая коллоидные примеси.

Механизм действия ПАА заключается в адсорбции его ионогенными группами образующихся при коагуляции микрочастиц. Анионные марки флокулянтов являются сополимерами акриламида с возрастающими долями акрилата, придающими полимерам в водном растворе отрицательные заряды и тем самым анионный характер: за счет чего происходит диссоциация по основному типу, при диссоциации акрилата образуется частица с отрицательным зарядом.



Исходные мономеры – акриламид и акриловая кислота в присутствии каустика, в результате образуется сополимер акриловой кислоты и акрилата натрия. Катионные марки флокулянтов являются сополимерами акриламида с возрастающими долями катионных сомономеров. Внесенные катионные группы обладают в водном растворе положительными зарядами.



Анионные флокулянты особенно эффективны при обработке дисперсных систем с отрицательно заряженными коллоидными частицами. Большинство органических коллоидов имеют отрицательный заряд. Катионные флокулянты – для обработки дисперсных систем с положительным зарядом [2].

Неорганические коллоиды, как правило, имеют положительный заряд, например, коллоидная гидроокись железа. Механизм действия катионных и анионных флокулянтов заключается в фиксировании дестабилизированных частиц (заряженных) и объединении их вдоль полимерной цепи [3]. На рисунке 1 представлена схема образования коагуляционных хлопьев (гетерогенные дисперсные примеси – ГДП). Частицы гидроксида под действием силы тяжести, адсорбируются на коллоидные примеси [4].

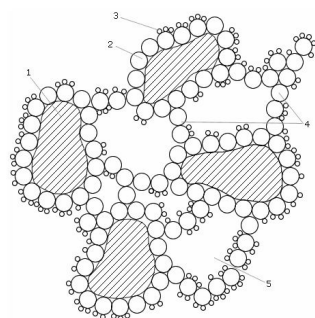


Схема образования коагуляционных хлопьев:
1 – частицы ГДП; 2 – частицы гидроксида; 3 – органические вещества;
4 – "клеявые" ностики; 5 – полости, заполненные водой

Рисунок 1 – Схема образования коагуляционных хлопьев

Экспериментальная часть

Условные обозначения и характеристика синтезированных водорастворимых полимеров представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Синтезированные полимеры серии М-ПАА

№	Условное обозначение полимеров	Модифиц. добавка	Кол-во модификатора, мл
1	М-ПАА (ПВ-1)	H ₂ O ₂	1
2	М-ПАА (ПВ-2)	H ₂ O ₂	2
3	М-ПАА (МЭА-0,5)	МЭА	0,5
4	М-ПАА (МЭА-1)	МЭА	1
5	М-ПАА (МЭА-2,5)	МЭА	2,5

Приборы, используемые при лабораторных исследованиях: флокулятор FC6S (6-местный, Velp), фотоколориметр КФК-2 МП.

Для определения оптимальной дозы коагулянта в исследуемую сточную воду добавляли различные количества СА. По истечении времени отстаивания определяли мутность на фотоколориметре КФК-2 (рис. 3). На диаграмме (рис. 2) показано влияние дозы коагулянта – сульфата алюминия (СА) на высоту образовавшегося осадка.

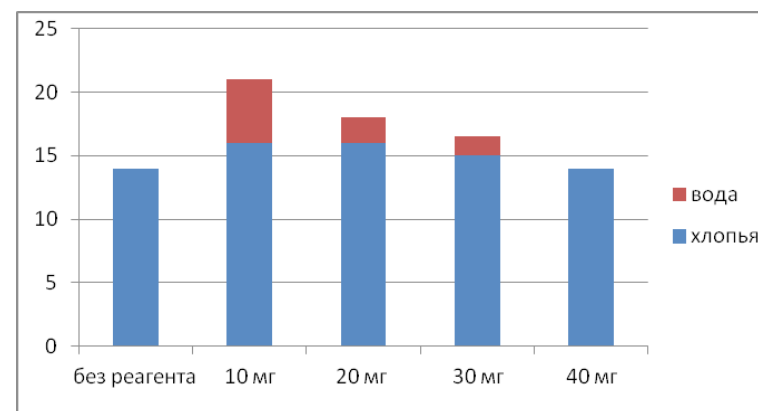


Рисунок 2 – Влияние дозы коагулянта (СА) на высоту осадка

Как видно из рисунка 2, оптимальной дозой коагулянта СА является 10 мг, что позволяет достигнуть лучшей степени очистки сточной воды.

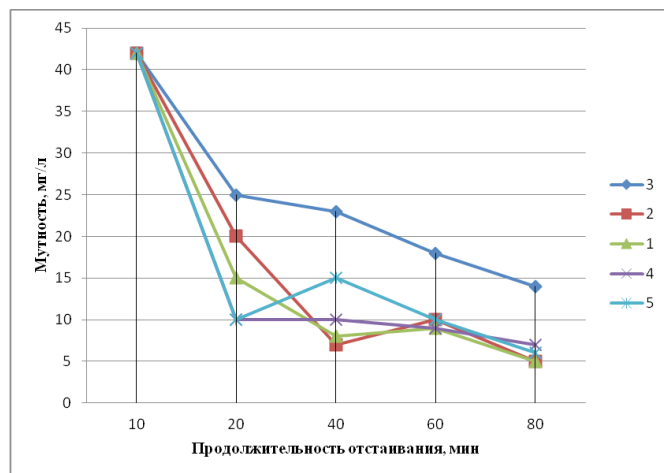


Рисунок 3 – Влияние совместного действия коагулянта и флокулянта на эффективность осветления сточной воды

Исходя из графика оптической плотности видно, что наиболее эффективный результат показали полимеры М-ПАА (ПВ-1) и М-ПАА (ПВ-2).

Лабораторные исследования флокуляции. Растворение флокулянтов происходит в две стадии. Вначале гель растворяется до 1 %-ной концентрации. Полученный концентрированный раствор перед использованием разбавляется до 0,1 %-ной концентрации.

Исследуемую пробу сточной воды 500 мл замеряли в мерном цилиндре и переносили в мерный стакан. Пипеткой добавляли соответствующую дозу коагулянта и флокулянта. Суспензия вместе со шламом перемешивается во флокуляторе (5 мин) до момента, когда образование флокул больше не происходит. Флокулирующие свойства полимеров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результат проведенной флокуляции

№	Полимеры	Кол-во коагулянта, г	Коагулянт	Vсточ. вода, мл	Время осаждения, мин	Визуальный эффект
1	М-ПАА (ПВ-1)	10	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	500	10	большие хлопья, хорошо удерживает частицы
2	М-ПАА (ПВ-2)	10	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	500	13	хорошо удерживает частицы, процесс осаждения интенсивный

3	М-ПАА (МЭА-0,5)	10	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	500	25	растворение среднее, осадок на дне, хлопья небольшие
4	М-ПАА (МЭА-1)	10	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	500	25	растворение среднее, хлопья почти не образуются
5	М-ПАА (МЭА-2,5)	10	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	500	27	плохо растворился, хлопья почти не образуются

Для анализа степени очистки сточных вод были получены спектры на приборе ИК-Фурье спектрометр ShimadzuIRPrestige-21 с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО)Miracle

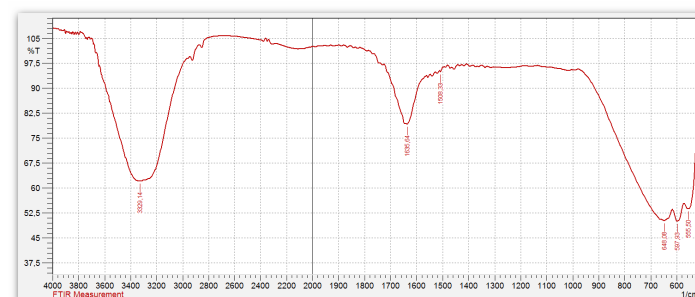


Рисунок 4 – ИК-спектр исходного образца сточной воды

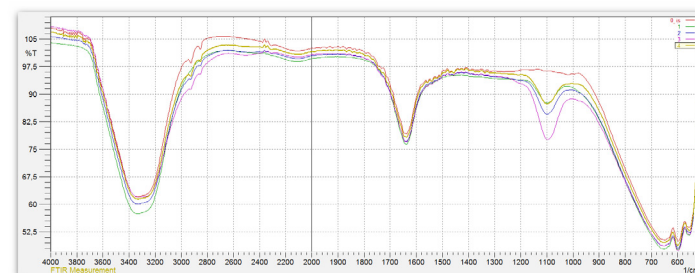


Рисунок 5 – Наложение ИК-спектров (исходной пробы 0 и 1,2,3,4 исследуемых проб)

Как видно из диаграммы (рис. 5), наличие пиков в области 3400-3200 cm^{-1} указывает на присутствие в молекуле групп NH_2 , OH . Широкая полоса

3300 см⁻¹ часто перекрывается с валентными колебаниями С-Н и свидетельствует о связанной группе ОН. Полосы в диапазоне 3360-3320 см⁻¹ относятся к ассоциированным группам NH₂, первичным амидам –СО-NH₂-. Полосы в области 3400-3200 см⁻¹ говорят о валентных колебаниях N-H и наличии иминов С=NH.

На диаграмме проб воды, очищенной флокулянтами (рис. 4) в области 1100 см⁻¹ наблюдаются стабильные пики при том, что на диаграмме исходной сточной воды (рис. 4) нет полос в этом диапазоне. Следует отметить, что наиболее интенсивную полосу (77%Т) в этом диапазоне показала проба воды, очищенная флокулянтом М-ПАА (ПВ-2). Эффективность этого полимера подтверждается данными ИК-спектроскопии.

ВЫВОДЫ

По итогам проведенных исследований можно сделать вывод, что лучшие флокулирующие свойства показали полимеры модифицированного полиакриламида с добавкой перекиси водорода (1 мл) и модифицированного полиакриламида с добавкой перекиси водорода (2 мл). Полимеры серии М-ПАА с модификатором – моноэтаноламин, не подходят в качестве флокулянтов ввиду слабой растворимости и недостаточной флокулообразующей способности.

Коллоидно-химические свойства водных растворов полимеров показали, что реагенты серии М-ПАА (ПВ) обладают флокулирующими, структурообразующими свойствами, которые находят применение при подготовке и очистке природных мутных, промышленных сточных вод, для ускорения процесса фильтрации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Хувинк, Р.** Химия и технология полимеров / Р. Хувинк, А. Ставерман. – М. : Химия, 1965. – 196 с.
- 2 Водное хозяйство промышленных предприятий. Флокулянты. Т. (часть 6): справочное издание. – Изд. Теплотехник. – 2008. ISBN 5-98457-069-6.
- 3 <http://www.scienceforum.ru/2015/>
- 4 **Вольф, И. Н., Ткаченко, Н. И.** Химия воды и микробиология природных и сточных вод. Изд. Ленинградского университета, 1973. – 238 с.
- 5 **Куренков, В. Ф.** Водорастворимые полимеры акриламида / В.Ф. Куренков – М. : Химия, 1997. – 62 с.

Материал поступил в редакцию 13.04.16.

К. Х. Жапаргазинова, Д. А. Торощина

Қалдық суларды тазартуға арналған модифицирленген суда ерігіш полимерлерді флокулянт ретінде зерттеу

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, павлодар қ.
Материал 13.04.16 баспаға түсті.

K. H. Zhapargazinova, D. A. Toroschina

The research of the modified water-soluble polymers used as flocculants for wastewater treatment

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 13.04.16.

Бұл мақалада негізгі полимерлі флокулянттардың коллоидты-химиялық қасиеттері және оларды қалдық суларды тазарту үшін қолданудың өзектілігі қарастырылған.

The article is devoted to the determination of the colloid-chemical characteristics of polymer flocculants and the relevance of their use for the wastewater treatment.

Ж. Б. Исабеков

PhD докторант, Павлодарский государственный университет имени

С. Торайгырова, г. Павлодар

e-mail: zh_is@mail.ru

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ ТОКОВ
ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ
В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 3-10 КВ**

В статье рассматриваются основные методы расчетов токов при однофазных замыканиях на землю с использованием известных методов систем схемотехнического моделирования.

Ключевые слова: кабельные электрические сети, компенсация, суммарные емкостные токи, однофазное замыкание на землю, методы расчета тока.

ВВЕДЕНИЕ

Кабельные электрические сети промышленных производств имеют большую длину, тем самым большие величины емкости относительно земли.

В связи с тем работа электрической сети в процессе эксплуатации, в результате плановых или аварийных переключений, происходит изменение величины ёмкости электрической сети. Это характерно, прежде всего, для кабельных сетей с изолированной нейтралью, имеющие емкостные токи. Поэтому в [1] нормируются значения емкостных токов: до 10 А – в сетях напряжением 10 кВ; до 20 А – в сетях напряжением 10 кВ и до 30 А в сетях напряжением 6 кВ. При указанных значениях (уровнях) токов работа в таких сетях считается допустимой. В противном случае следует принимать меры по их компенсации, т.е. уменьшению, например, путем включения в нейтраль дугогасящего реактора. Суть компенсации ёмкостных токов в сетях 6-10 кВ заключается в снижении токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Это сопровождается рядом положительных факторов, связанных с работой сети: происходит самопроизвольное погасание дуги, улучшаются условия электробезопасности, снижается кратность перенапряжений и др.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для определения емкостных токов следует провести анализ методов расчетов при ОЗЗ. Рассмотрим эмпирический метод емкостных токов [2].

Величину $I_{c, \text{фид. макс}} = I_{c, \Sigma}$ с изолированной нейтралью в [2, 3] рекомендуется, например, определять следующим образом для кабельных сетей

$$I_{c, \Sigma} = \frac{U_{\text{ном}} I_{\Sigma}}{10}, \tag{1}$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети (6 или 10 кВ); l_{Σ} – суммарная длина линий, км.

Суммарный емкостный ток сети определяется как сумма описанных выше составляющих для всех гальванически связанных линий сети.

Основное преимущество данного метода определения емкостных токов состоит в его простоте. Но, к сожалению, здесь не учитываются многие факторы, оказывающие существенное влияние на уровень емкостных токов. Это обстоятельство обуславливает наличие большой погрешности при расчетах и ограниченное применение данного метода.

В работе [3] рассмотрен метод определения емкостных токов по удельным параметрам. В этом методе более точно величину емкостного тока $I_{c, \text{фид. макс}}$ можно подсчитать, используя, например, данные по удельным емкостным токам в кабельных линиях, приведенные в работе [4]. Однако там же отмечается, что величина емкостного тока, определенная по формуле (1), может давать погрешность порядка 40-80 % по сравнению с реальным, замеренным при ОЗЗ в сети, током. Одна из причин – заключается в том, что не производится учет емкостей относительно земли потребителей электроэнергии, например, двигателей.

В [4] рекомендуется для дальнейшего повышения точности расчетов емкостного тока сети $I_{c, \Sigma}$ (в кА) использовать метод, основанный на определении тока ОЗЗ через емкость сети относительно земли

$$I_{c, \Sigma} = U_{\phi} \cdot \omega \cdot 3C_{\Sigma}, \tag{2}$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение (кВ); $\omega = 2\pi f = 314$ (рад/с); C_{Σ} – емкость одной фазы сети относительно земли (Ф).

$$C_{\Sigma} = 3 \left(\sum_{i=1}^m c_i i_i + \sum_{j=1}^n c_j g_j \right). \tag{3}$$

где c_i – удельная емкость на фазу i -ой линии (Ф/км); i_i – длина i -ой линии (км); m – число линий (кабельных с заземляющим тросом и без него); c_j – емкость на фазу j -го элемента сети (Ф); g_j – число учитываемых элементов сети; p – общее число таких элементов.

В работе [5] емкостной составляющей тока ОЗЗ на землю определяется выражением

$$I_c = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot C_{\Sigma c}, \quad (4)$$

где $C_{\Sigma c}$ – суммарная емкость одной фазы сети относительно земли, которая может быть определена, исходя из физических параметров сети с использованием приведенных данных.

Для практических расчетов для условий горных работ при расчете емкостного тока ОЗЗ можно пользоваться эмпирическим выражением

$$I_c = U_{ном} \cdot (l_B + 10 \cdot l_K) / 350, \quad (5)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, l_B , l_K – суммарная длина соответственно воздушных и кабельных линий в электрически связанной сети карьера, определяется в километрах.

В работе [6] емкостные токи двигателей рекомендуется определять по (2), причем емкость C_d (в фарадах) для неявнополюсных синхронных двигателей и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором рассчитывается по следующему выражению

$$C_d = \frac{0,0187 S_{ном} \cdot 10^{-6}}{1,2 \sqrt{U_{ном} \cdot (1 + 0,08 U_{ном})}}, \quad (6)$$

где $S_{ном}$ – номинальная полная мощность двигателя (МВ·А); $U_{ном}$ – номинальное напряжение двигателя (кВ).

Для остальных типов электрических двигателей

$$C_d = \frac{40 \cdot \sqrt[4]{S_{ном}^3} \cdot 10^{-9}}{3 U_{ном} \cdot (U_{ном} + 3,6) \cdot \sqrt[3]{n_{ном}}}, \quad (7)$$

где $n_{ном}$ – номинальная частота вращения ротора (об/мин).

В некоторых источниках, например в [2], приведены следующие удельные параметры и формулы. Если в сети имеются крупные электродвигатели напряжением 6 или 10 кВ, то следует учитывать их собственные емкостные токи. Емкостный ток электродвигателя (при внешнем ОЗЗ) можно ориентировочно определить по эмпирическим формулам [2]:

$$\text{при } U_{ном.дв} = 6 \text{ кВ } I_{сдд} \approx 0,017 S_{ном.дв} \quad (8)$$

$$\text{при } U_{ном.дв} = 10 \text{ кВ, } I_{сдв} \approx 0,03 S_{ном.дв} \quad (9)$$

где $S_{ном.дв} = \frac{P_{ном.дв}}{\cos \varphi \eta}$. Например, у двигателя мощностью $P=5$ МВт напряжением 10 кВ собственный емкостной ток может иметь значение $I_{сдв}=0,17$ А.

Для карьерных сетей используется расчетный метод [7, 8] по которому ток ОЗЗ определяется с учетом токов утечек через сопротивления фаз

относительно земли экскаваторов и передвижных трансформаторных подстанций. При этом

$$I_0 = U_{л} \left(\frac{L_K}{10} + \frac{L_B}{350} + \frac{N_{ЭК}}{k_{ЭК}} + \frac{N_{МП}}{k_{МП}} \right), \quad (10)$$

где $N_{ЭК}$ и $N_{МП}$ – число подключенных к линии экскаваторов и передвижных трансформаторных подстанций, ед; $k_{ЭК}$ и $k_{МП}$ – удельные коэффициенты, определяющие сопротивление изоляции относительно земли экскаваторов и ПКТП-6/0,4 кВ, кОм ед.

Приведенная математическая зависимость определения расчетным путем тока однофазного замыкания на землю не обеспечивает удовлетворительную точность, поскольку не учитывается ряд факторов, одним из которых относится борт карьера.

В работе [9] проведены экспериментальные исследования состояния изоляции и тока однофазного замыкания на землю в зависимости от влияния борта карьера.

Величина тока однофазного замыкания на землю в карьерных распределительных сетях напряжением 6 кВ в зависимости от борта карьера и количества $N_{бст}$ буровых станков, подключенных к исследуемой сети, определяется по формуле

$$I_0 = (0,02 + 60,37 L_K + 2,006 L_B + 3,938 L'_B + 3,93 N + 0,983 N_{мп}), \quad (11)$$

где l_B и l'_B – длина воздушных линий вдоль и вне борта карьера в километрах.

С учетом преобразований в [9] это уравнение для определения тока однофазного замыкания на землю расчетным путем с учетом борта уступа карьера представлено в виде

$$I_0 = U_{л} \left(\frac{l_B}{k_B} + \frac{l'_B}{k'_B} + \frac{l_K}{k_K} + \frac{N_{ЭК}}{k_{ЭК}} + \frac{N_{мп}}{k_{мп}} + \frac{N_{бст}}{k_{бст}} \right), \quad (12)$$

где $k_{бст}$ – эмпирический коэффициент.

В данном методе для карьерных сетей определение тока ОЗЗ напряжением выше 1000 В расчетными методами не позволяет обеспечить удовлетворительную точность и получить диапазон изменения тока ОЗЗ от его средней величины.

В методах определения емкостных токов по удельным параметрам сети обладает более высокой точностью, но при этом более трудоемок в использовании. Кроме того, необходимо наличие таких исходных данных, как тип установленных электродвигателей.

Метод [10] определения тока однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ расчётным способом исходными данными для расчётного определения

тока ОЗЗ являются параметры сети: сечение и длина кабелей. Ток ОЗЗ определяется по формуле

$$I_3 = I_{3,уд.} \cdot L_{пр.}, \quad (13)$$

где $I_{3,уд.}$ – удельный ток замыкания на землю для кабелей сечением 50 мм², $I_{3,уд.} = 0,6$ А/км – для бронированных кабелей, $I_{3,уд.} = 1,0$ А/км – для гибких кабелей; $L_{пр.}$ – приведенная длина кабеля (км).

Для определения приведенной длины кабеля используется выражение

$$L_{пр.} = L \cdot K, \quad (14)$$

где L – длина кабелей от источника питания до потребителей; K – коэффициент приведения длин кабеля.

Как известно кабели с изоляцией из пропитанной бумаги и сшитого полиэтилена имеют разную конструкцию, поэтому для расчета электрической емкости в работе [11] применили инженерный метод. Для минимизации погрешностей при расчете инженерным методом кабельных линий параметры кабелей выбирались согласно нормативным документам [12]. Инженерная формула для расчета средней емкости фазы кабелей напряжением 6-35 кВ с пропитанной бумажной изоляцией имеет вид

$$C_{кз} = K_{исп} \cdot 10^7 \left(\ln \left(K_{\phi} + \frac{K_U}{\sqrt{F}} \right) \right)^{-1}, \quad \Phi/\text{км} \quad (15)$$

где $K_{исп}$ – коэффициент исполнения кабеля; K_{ϕ} – коэффициент формы жилы; K_U – коэффициент номинального напряжения кабеля; F – сечения жилы мм².

Инженерная формула для расчета емкости фазы кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 6-35 кВ представлен формулой 16.

$$C_{кзсшп} = K_{исп} \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{1}{\ln \left(1 + \frac{K_{U1}}{\sqrt{F_1}} \right)} + \frac{1}{\ln \left(1 + \frac{K_{U2}}{\sqrt{F_2}} \right)} \right), \quad \Phi/\text{км} \quad (16)$$

В свою очередь потребители электроэнергии имеют собственную емкость, которую необходимо учитывать при расчете емкостных токов, относятся электрические двигатели. Инженерная формула для расчета емкости неявнополюсных синхронных двигателей и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором имеет вид

$$C_{дл} = \frac{S_{ном} \cdot 10^{-8}}{K_U}, \quad (17)$$

где K_U – коэффициент напряжения.

Инженерная формула для расчета емкости остальных типов двигателей имеет следующий вид:

$$C_{дл} = \frac{\sqrt{S_{ном}^3} \cdot 10^{-9}}{K_U \cdot K_n}, \quad (18)$$

где K_U – коэффициент напряжения; K_n – коэффициент частоты вращения.

Таким образом для определения величины емкостного тока инженерным методом необходимо определить значение суммарной емкости фаз всех элементов электрической сети, которые имеют электрическую связь с местом ОЗЗ по выражениям (5-7). Значение суммарной емкости фаз подставить выражение 2 и определить величину емкостного тока замыкания на землю.

В работе [13] описан резонансный метод измерения емкостного тока, в которой напряжение емкостной несимметрии не зависит от настроек компенсации, то учитывая выражение $U_0 = U_{нс} / \sqrt{\mathcal{G}^2 + d^2}$, и пренебрегая влиянием d , можно записать отношения напряжений смещения нейтрали U_{01} и U_{02} при расстройках U_1 и U_2 : $U_{01}/U_{02} = \mathcal{G}^2/\mathcal{G}^1 = I_c - I_{K2}/I_c - I_{K1}$. Отсюда можно найти емкостный ток сети по следующей формуле

$$I_c = \frac{I_{K2} - I_{K1} \frac{U_{01}}{U_{02}}}{1 - \frac{U_{01}}{U_{02}}}, \quad (19)$$

где I_{K1} , I_{K2} – токи дугогасящих катушек, соответствующие расстройкам \mathcal{G}^1 и \mathcal{G}^2 , U_{01} и U_{02} – измеренные напряжения смещения нейтрали, I_{K1} и I_{K2} берутся по замерам или по паспортным данным ДГР.

ВЫВОДЫ

Замер суммарного значения тока, например, с помощью традиционных приборов, предназначенных для измерения токов промышленной частоты, связан с существенными погрешностями. Отмечались погрешности порядка 30 % в сторону уменьшения замеренных токов относительно расчетного.

Как отмечалось выше, расчетные емкостные токи сети обычно отличаются от реальных, которые можно определить лишь замером на объекте [1]. Однако процесс замера емкостного тока, кроме технических трудностей, связан еще некоторой методической неопределенностью. Более точно емкостный ток $I_{сз}$ можно определить экспериментально, что и требуется делать регулярно, так как протяженность сети изменяется в течение эксплуатационного периода, либо путем известных систем схемотехнического моделирования.

- 1 Правила устройства электроустановок. – М. : Изд. НЦ ЭНАС, 2003.
- 2 **Шалин, А. И.** Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ. Расчет уставок ненаправленных токовых защит // Новости электротехники. – 2005. – № 5 (35).
- 3 **Шабад, М. А.,** Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ. – приложение к журналу «Энергетик». – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 63 с.
- 4 **Бухтояров, В. Ф.** Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров / Под ред. В. Ф. Бухтоярова, А. М. Маврицын. – М. : Недра, 1986. – 184 с.
- 5 **Пивняк, Г. Г. Шкрабец, Ф. П., Горбунов, Я. С.** Релейная защита электроустановок на открытых горных работах: Справочное пособ. – М. : Недра, 1992. – 240 с.
- 6 **Корогодский, В. И.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ / В. И. Корогодский, С. Л. Кужеков, Л. Б. Паперно. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
- 7 **Гладилин, Л. В., Щуцкий, В. И., Бацезев, Ю. Г., Чеботаев, Н. И.** Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. – М. : «Недра», 1977. – 327 с.
- 8 **Меньшов, Б. Г.** Расчет тока замыкания на землю в карьерных электрических сетях. Горные машины и автоматика. – 1970. – № 4. – С. 65-67.
- 9 **Утегулов, Б. Б., Леухина, Л. И.** Оценка степени влияние технологии открытых горных работ на изменение емкостного тока. Комплексное использование минерального сырья. Академия наук СССР. – Алма-ата, 1988. – № 12. – С. 23-26.
- 10 http://tinref.ru/000_uchebniki/01791shahtnoe_oborudov/086_instrukcia_zashitnogo_zazemlenia_uralkali/015.htm
- 11 **Зацепин, Е. П., Калинин, Е. В.** Компенсация ёмкостных токов в распределительных электрических сетях // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2010. – № 3(21). – С.17-22.
- 12 ГОСТ 18410-73. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Технические условия [Текст]: – Введ. 1975-01-01. – М. : ИПК изд-во стандартов, 2002. – 24 с.
- 13 **Черников, А. А.** Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью. – М. : «Энергия», 1974. – 96 с.

Ж. Б. Исабеков

3-10 кВ кабельдік тораптарда жерге бір фазалы тұйықталулар кезінде токтарды есептеудің әдістерін талдау

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 12.05.16 баспаға түсті.

Zh. B Issabekov

The analysis of methods of currents calculations at single phase-to-earth fault in cable networks of 3-10 kV

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 12.05.16.

Мақалада схематехникалық үлгілеу жүйелерінің белгілі әдістерін пайдаланумен жерге бір фазалы тұйықталулар кезінде токтарды есептеудің негізгі әдістері қарастырылады.

In the article there are considered the main methods of currents calculations at single-phase short circuits on the earth with use of the known methods of circuitry modeling systems.

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов², А. П. Кислов²,
В. П. Марковский², А. В. Антонцев²**

¹АО «УК СЭЗ «ХимПарк Тараз», г. Шу; ²Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар
e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru

ТРАНЗИСТОРНЫЕ ИНВЕРТОРЫ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ БАЗОВЫХ ВЕКТОРОВ

За период ШИМ происходит четыре коммутации ключей по сравнению с шестью переключениями в синусоидальной ШИМ, что снижает динамические потери в инверторе. Векторная ШИМ максимально полно использует запас напряжения звена постоянного тока, что на 15 % больше, чем при синусоидальной ШИМ. Для инверторов с бутстрепным питанием драйверов верхних ключей, т.е. получающих питание от бутстрепной емкости или «плавающего» источника, требуется использовать привязку к нижней шине, то есть выбирать такие направления обхода базовых векторов, при котором инвертор использует нулевое состояние 000.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, инвертор, базовые векторы, переключатели, приводы.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство выпускаемых сегодня преобразователей частоты для регулирования скорости вращения трехфазных двигателей обеспечивают управление инвертором напряжения в режиме синусоидальной центрированной (симметричной) широтно-импульсной модуляции.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Суть данного метода состоит в одновременном управлении на заданной несущей частоте (обычно 10-20 кГц) сразу всеми шестью ключами инвертора (рис. 1) таким образом, что в средних точках каждой стойки инвертора формируются волны синусоидального выходного напряжения U_1, U_2, U_3 , сдвинутые друг относительно друга на 120 электрических градусов. При этом верхний и нижний ключи всегда коммутируются в противофазе и максимальная амплитуда выходного сигнала равна половине напряжения на звене постоянного тока $U_{dc}/2$. Если для формирования напряжения U_{dc}

использовать стандартный неуправляемый выпрямитель, то двигатель окажется недоиспользованным по напряжению примерно на 15 %. Сегодня можно констатировать, что все теоретические вопросы решены и, более того, аппаратно поддержаны в конструкциях встроенных ШИМ-генераторов ряда специализированных микроконтроллеров.

Суть метода, получившего название широтно-импульсной модуляции базовых векторов (векторной ШИМ-модуляции), состоит в отказе от одновременной коммутации всех ключей инвертора и в переходе к коммутации между несколькими, заранее выбранными состояниями инвертора, каждое из которых соответствует определенному пространственному положению вектора результирующего напряжения, приложенного к двигателю.

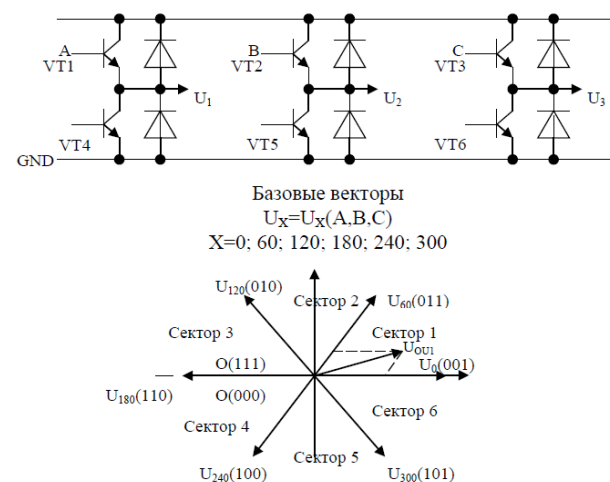


Рисунок 1 – ШИМ – модуляция базовых векторов

В табл.1, показаны схемы включения силовых ключей и векторные диаграммы для наиболее часто используемых базовых векторов, соответствующего стандартной 6-тактной коммутации 1; 0,5; 0,5 (верхний ключ, два нижних или два верхних, нижний).

Таблица 1 – Схемы включения силовых ключей и векторные диаграммы

Базовый вектор		Схема включения и векторная диаграмма	Фазные напряжения (U_a/U_{dc})		
обозначение	код		U_c	U_b	U_a
O(000)	000		0	0	0
$U_0(001)$	001		-1/3	-1/3	+2/3
$U_{60}(011)$	011		-2/3	+1/3	+1/3
$U_{120}(010)$	010		-1/3	+2/3	-1/3
$U_{180}(110)$	110		+1/3	+1/3	-2/3
$U_{240}(100)$	111		+2/3	-1/3	-1/3
$U_{300}(101)$	101		-1/3	+2/3	-1/3
O(000)	000		0	0	0

В векторной ШИМ выделяют восемь возможных состояний инвертора и нумеруют их двоичными цифрами от 000 до 111. Каждый разряд указывает,

какой из ключей какой стойки в настоящее время включен. Единице соответствует включенное состояние верхнего ключа стойки и выключенное состояние нижнего, нулю соответствует включенный нижний ключ и отключенный верхний. Графически возможные состояния можно представить в виде шестигранника, показанного на рис. 2. Имея восемь базовых векторов, два из которых «нулевые» из-за отключенного напряжения (0), а остальные сдвинуты в пространстве на 60 электрических градусов (рис. 2), можно воспроизвести любой требуемый вектор выходного напряжения путем переключения на периоде ШИМ между двумя базовыми векторами текущего сектора U_x и U_{x+60} и нулевыми векторами O(000) и O(111).

Как показано на рис. 2 (верхний левый), в предельном случае, когда нулевые векторы не используются, годограф вектора результирующего напряжения представляет собой шестиугольник, описанный вокруг базовых векторов. С учетом того, что амплитуда базового вектора составляет $2/3 U_{dc}$, возможно формирование кругового годографа вектора результирующего напряжения с амплитудой $0,577 U_{dc}$, что на 15 % больше амплитуды выходного напряжения для случая классической синусоидальной центрированной ШИМ.

Основным недостатком векторной ШИМ является невозможность реализации заданных векторов на границах секторов из-за влияния «мертвого» времени [1, 2]. Это особенно заметно при работе на малых скоростях вращения (малой амплитуде вектора напряжения), когда регуляторы тока сталкиваются с нелинейностью и не могут отработать задание тока. Для наглядности приведем пример. Если скважность по верхнему ключу фазы близка к нулю, а ток втекает в фазу, то эффективное значение среднего потенциала фазы будет выше заданного, за счет того, что в течении «мертвого» времени ток будет протекать через верхний обратный диод. Таким образом, вектор подходит к границе сектора с «опозданием», то есть по достижению задания потенциала фазы (скважности) нуля, напряжение фазы определяется величиной «мертвого» времени. Если вектор напряжения поворачивается дальше, то происходит смена рабочего сектора (рис. 2) на соседний, где эта фаза оказывается полностью выключенной, то есть ее потенциал становится равным нулю относительно минусовой шины звена постоянного тока. Разные авторы предлагают много способов устранения данного скачкообразного изменения потенциала, например, переход к 12-секторной векторной ШИМ [1]. Но проблема остается, так как в этом случае регуляторы тока фаз все равно работают с той же нелинейностью, но уже при другом электрическом угле. Этот недостаток векторной ШИМ заметен на малых амплитудах напряжения и связан с наличием малых скважностей, что и требовалось исключить в новом методе формирования напряжения [4, 5].

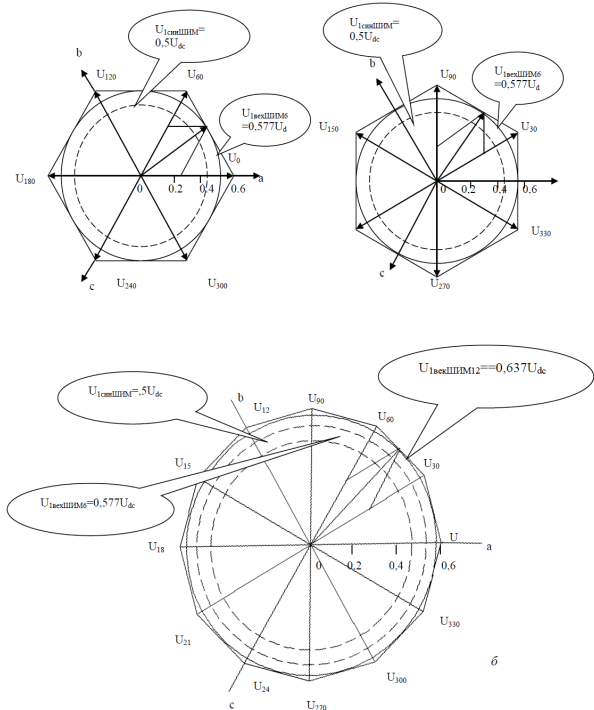


Рисунок 2 – Сравнительный анализ различных методов ШИМ-модуляции базовых векторов

Разработанный метод основан на вывешивании фазных потенциалов между отрицательной и положительной шиной звена постоянного тока. Фазные потенциалы получаются при преобразовании вектора напряжения из полярных координат в систему трехфазных или в системах векторного управления во время обратных фазных преобразований из двухфазной системы в трехфазную.

Если ко всем полученным значениям фазных потенциалов прибавить или вычесть константу, то значения линейных напряжений не изменятся, так как они представляют собой разность фазных потенциалов.

Необходимая прибавка вычисляется исходя из максимальной разности потенциалов между фазами.

Данный метод ШИМ имеет ту же эффективность по использованию напряжения звена постоянного тока, что и векторная ШИМ, но за один период коммутируются все шесть ключей инвертора. Это увеличивает

динамические потери в ключах, но система приобретает определенные преимущества.

Вектора напряжения с амплитудой близкой к нулю реализуются при скважности 50 %, что обеспечивает линейную зависимость между скважностями и линейными напряжениями двигателя. Нелинейности, как и в случае с синусоидальной и векторной ШИМ, возникает только при смене знака тока фазы, в следствии влияния «мертвого» времени. Борьбаться с этим эффектом можно либо программно, анализируя знак тока, либо на аппаратном уровне [3], используя программируемую логическую матрицу для анализа разницы между задающим сигналом и воспроизведенным инвертором.

В программном случае возникает много проблем с малыми токами и моментом перехода тока через ноль. Как раз в то время, когда система проходит нелинейный участок (переход тока через ноль) информация о знаке тока, использующаяся для коррекции, исчезает.

Аппаратный компенсатор «мертвого» времени, построенный на базе программируемой логической матрицы, лишен данного недостатка, так как он получает полную информацию о формируемом векторе напряжения с помощью оптронного датчика.

Сравнивая сигнал управления с заданием, логика ПЛМ интегрирует ошибку, а затем добавляет ее, увеличивая ширину импульса управления, задерживая задний фронт, либо уменьшает, задерживая передний фронт. Функциональная схема устройства с аппаратным компенсатором «мертвого» времени показана на рис. 3.

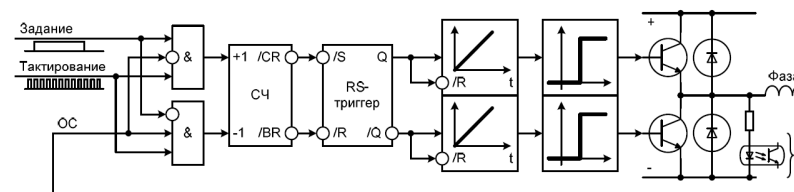


Рисунок 3 – Вариант функциональной схемы устройства с аппаратным компенсатором «мертвого» времени

ВЫВОДЫ

За период ШИМ происходит четыре коммутации ключей по сравнению с шестью переключениями в синусоидальной ШИМ, что снижает динамические потери в инверторе. Векторная ШИМ максимально полно использует запас напряжения звена постоянного тока, что на 15 % больше, чем при синусоидальной ШИМ. Для инверторов с бустрепным питанием

драйверов верхних ключей, т. е. получающих питание от бутстрепной емкости или «плавающего» источника, требуется использовать привязку к нижней шине, то есть выбирать такие направления обхода базовых векторов, при котором инвертор использует нулевое состояние 000.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Kaidar, A. B., Kopyrin, V. S., Shapkenov, B. K., Markovski, V. P.** Experimental studies inverter with pulse width modulation for power supply systems with renewable energy sources. Materials Internative scientific and technical conference «YI reading Sh. Shokina», October 10. – 2014. – pp. 134-140.

2 **Kislov, P., Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K., Markovsky, V. P.** Stand-alone power systems with IGBT-inverter. VII Международная научная конференция молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика». – Новосибирск, 9 – 12 июня 2015 года. – С. 67-74.

3 **Kislov, A. P., Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K.** Diagnosis of inverter drives' faults VII «Applied Mechanics and Materials», – Новосибирск, 9 – 12 июня 2015 года. – С. 75-88.

4 **Markovski, V. P., Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K.** Stand-alone power systems with IGBT-inverter. Scopus and Web of Science «Applied Mechanics and Materials». – Zürich, 15-18 Juni 2015. – P. 251-258.

5 **Kislov, A. P., Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K.** Diagnosis of inverter drives' faults. Scopus and Web of Science «Applied Mechanics and Materials». – Zürich, 15-18 Juni 2015. – P. 258-271.

Материал поступил в редакцию 20.04.16.

A. B. Kaidar¹, B. K. Shapkenov², A. P. Kislov², V. P. Markovskiy², A. V. Antontsev²

Негізгі векторлардың ендік-импульстік модуляциямен транзистор инверторлары

¹АҚ «АЭА «Тараз Химиялық паркі», Шу қ.;

²С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 20.04.16 баспаға түсті.

A. B. Kaidar¹, B. K. Shapkenov², A. P. Kislov², V. P. Markovskiy², A. V. Antontsev²

Pulse-width modulation of base vectors in transistor inverter

¹SEZ «Chemical Park», Shu;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 20.04.16.

Синусоидальды ЕИМ-де алты ауыстырып қосулармен салыстырғанда ЕИМ кезеңде кілттердің төрт коммутациясы болады, ол инверторда динамикалық ысыраптарды төмендетеді. Векторлық ЕИМ тұрақты ток түйінінің кернеу қорын максималды толық қолданады, ол синусоидальды ЕИМ-ге қарағанда 15 % артық. Жоғарғы кілттер драйверлердің бутстрепті қорек көзімен инверторлар үшін (бутстрепті ыдыстан немесе «жүзетін» дереккөзден қорек алатын) төмеңгі шинаға жалғастыру пайдалану талап етіледі, яғни негізгі векторлар инвертордың жанында нөлдік күй 000 пайдаланатын айналып жүру бағыттарын таңдау.

During one period of PWM four switch commutations occur, compared with six commutations in sinusoidal PWM, that reduces the dynamic losses of inverter. Vector PWM maximally uses voltage reserve of direct current link, that is 15 % more than sinusoidal PWM. For invertors with bootstrap feeding of upper switches' drivers, that is getting power from bootstrap capacity or floating source, it is necessary to use bounding to lower bus, that is choose such directions of basic vectors bypassing, so that inverter uses zero state 000.

**А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар²,
Д. Т. Шонаев³, М. Б. Кайдар⁴, В. П. Марковский¹,
Д. С. Шарапиденов¹**

¹Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, ²АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу; ³Казахско-турецкий лицей, ⁴АО «КазТрансГаз»
e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru

СИММЕТРИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрены несимметричные режимы сетей на 0,4 кВ. Дан анализ несимметрии. Приведены диаграммы процессов и пути устранения несимметрии.

Ключевые слова: несимметрия напряжения, однофазные нагрузки, дополнительные потери, коэффициенты обратной и нулевой последовательностей напряжения

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных возможностей экономии электрической энергии, наряду с разработкой рациональных норм расхода, является борьба за уменьшение транспортных расходов, которые составляют около 10 % [1, 2]. В бытовых городских и сельских электрических сетях эти потери еще больше, из-за низкого уровня эксплуатации, малой удельной нагрузки вдоль линий электропередачи, повышенной несимметрии фазных нагрузок [3, 4].

Явление перекоса фаз известно практически всем, кто так или иначе сталкивается с проблемами, связанными с потреблением электроэнергии. Перекос фаз проявляется в трехфазных четырех- (пяти-) проводных сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В [5, 6]. Так проведенные в 2015-2016 году исследования в городских и сельских сетях г. Экибастуза и его сельской зоны (село Торт-кудук) показали, что потери электрической энергии в тупиковых сетях напряжением 0,38 кВ составляют 31-33 %, а с учетом потерь электроэнергии в трансформаторах 10/0,4 кВ потребительских подстанций (ТП) они достигают 50-55 % от общих потерь.

Проведенными исследованиями установлено, что потери электрической энергии, обусловленные случайной несимметрией токов, могут быть снижены на 15-20 %. Ввиду этого персоналу обслуживающей компании необходимо выполнять периодическое перераспределение нагрузок, а также при необходимости решать вопрос автоматического симметрирования нагрузок фаз.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В идеальном состоянии фазное напряжение (напряжение между каждой из трех фаз и нулевым рабочим проводником) составляет 220 В. Векторная диаграмма напряжений генератора (модель, отображающая взаимосвязь и взаиморасположение фазных и линейных напряжений) показана на рис. 1.

Линейные напряжения образуют равносторонний треугольник с вершинами U_A, U_B, U_C . Фазные напряжения $0A, 0B$ и $0C$ равны между собой и сдвинуты друг относительно друга на угол 120° . Данная модель является идеальной и перекос фазных напряжений в ней отсутствует.

При подключении нагрузки на разные фазы, которая всегда отличается и по величине, и по характеру – резистивная и реактивная (индуктивная и емкостная), в питающей сети возникает перекос фазных напряжений. Помимо вреда, который наносит электроэнергия низкого качества непосредственно электроприемникам, возникают уравнивающие токи, вызывающие дополнительный расход электроэнергии, и, соответственно, топлива, масла, охлаждающей жидкости при питании от генератора.

Схема, иллюстрирующая условия возникновения перекоса фаз (напряжений) представлена на рис. 2, где R_A, R_B, R_C – активные сопротивления нагрузок по фазам, причем $R_A > R_B > R_C \neq 0$.

Если бы сопротивления нагрузки были равны, то токи, через них протекающие так же были равны между собой. Учитывая то, что угол сдвига между ними равен 120° , то их геометрическая сумма равнялась бы нулю.

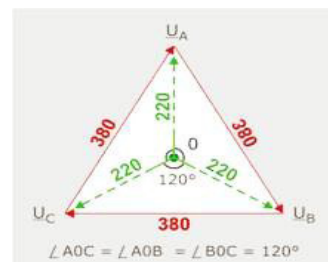


Рисунок 1 – Векторная диаграмма напряжений

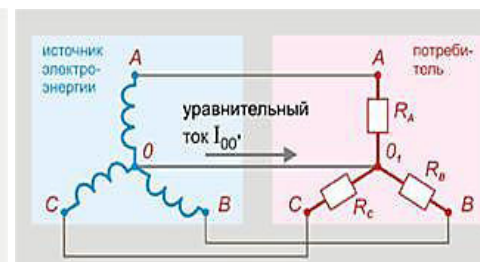


Рисунок 2 – Схема, иллюстрирующая условия возникновения перекоса фаз

Однако при их неравенстве в результате суммирования возникает ток $I_{00'}$, который называется уравнивающим (см. рис. 2.). А, следовательно, напряжение $U_{00'}$, которое называется напряжением смещения. Чем больше уравнивающий ток, тем больше потери электроэнергии. Чем больше напряжение смещения, тем выше риск повреждений, отключений, отказов,

неустойчивой работы электроприемников, генератора электроэнергии, тем быстрее они изнашиваются, тем больше потребляют ресурсов.

Ниже приведены потери электроэнергии, полученные в результате измерений по сезонам в сетях 0,4 кВ в г. Экибастузе и селе Торт-кудук в период 2015-2016 годов по сезонам года и временные диаграммы измерений (рис. 3-8).

Последствия перекоса фаз

Последствия перекоса фаз проявляются в увеличении электропотребление из сети; в неправильной работе электроприемников, их сбоях, отказах, отключениях, перегорании предохранителей, износе изоляции. Для трехфазных автономных источников неравномерность загрузки их фаз чревата механическими повреждениями подшипников валов, подшипниковых щитов генератора и приводного двигателя, закоксовыванию форсунок.

Стоимость дополнительных потерь электрической энергии, обусловленных несимметрией фазных токов для двух ЛЭП, отходящих от шин ТП для разных сезонов года составила.

Зима. Линия № 1 – 25305 тнг.; линия № 2 – 3422 тнг. Суммарная стоимость потерь от несимметрии токов в ЛЭП: 28728 тнг. Стоимость дополнительных потерь электроэнергии, обусловленных несимметрией токов в силовом трансформаторе: 38308 тнг. Суммарная стоимость дополнительных потерь: 67037 тнг.

Весна. Линия №1 – 12543 тнг.; линия № 2 – 5569 тнг. Стоимость потерь электроэнергии, обусловленных несимметрией токов в ЛЭП: 18112 тнг. Стоимость дополнительных потерь электроэнергии, обусловленных несимметрией токов в силовом трансформаторе: 25976 тнг. Суммарная стоимость дополнительных потерь: 44089 тнг.

Лето. Линия № 1 – 4572 тнг.; линия № 2 – 2157 тнг. Суммарная стоимость потерь от несимметрии токов в ЛЭП: 6729 тнг. Стоимость дополнительных потерь электроэнергии, обусловленных несимметрией токов в силовом трансформаторе: 13692 тнг. Суммарная стоимость дополнительных потерь: 20421 тнг.

Осень. Линия № 1 – 8686 тнг.; линия № 2 – 2608 тнг. Суммарная стоимость потерь от несимметрии токов в ЛЭП: 11295 тнг. Стоимость дополнительных потерь электроэнергии, обусловленных несимметрией токов в силовом трансформаторе: 17338 тнг. Суммарная стоимость дополнительных потерь: 28634 тнг.

Таким образом, суммарное годовое количество дополнительных потерь электрической энергии, обусловленных несимметрией фазных токов в электрической сети 0,38 кВ (ТП-17 – ЛЭП), составило: 8860 кВт·ч., стоимостью 160182 тнг.

Проведенный анализ дополнительных потерь электрической энергии (рис., обусловленных несимметрией токов в исследуемых сетях (ТП-5, ТП-9, ТП-17) показал, что их суммарная величина составила: 129157,3 кВт·ч., а их стоимость – 2335082 тнг.

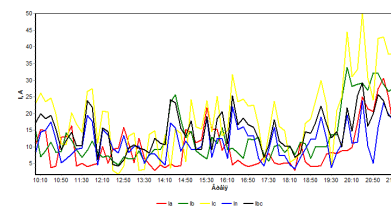


Рисунок 3 – Временные диаграммы изменения токов в линии 0,38 кВ ТП-5 (осень)

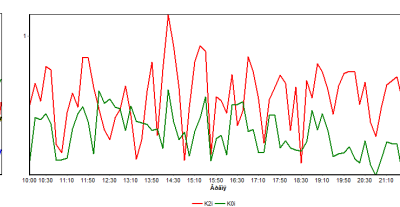


Рисунок 4 – Временные диаграммы изменения коэффициентов обратно и нулевой последовательности токов в линии 0,38 кВ ТП-5 (осень)

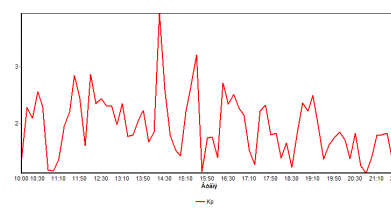


Рисунок 5 – Временная диаграмма изменения коэффициента потерь мощности в линии 0,38 кВ ТП-5 (осень)

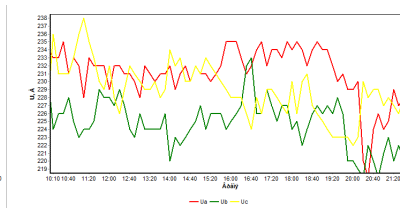


Рисунок 6 – Временные диаграммы изменения фазных напряжений в линии 0,38 кВ ТП-5 (осень)

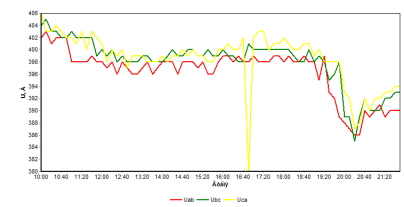


Рисунок 7 – Временные диаграммы изменения междуфазных напряжений в линии 0,38 кВ ТП-5 (осень)

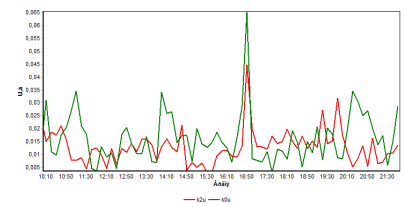


Рисунок 8 – Диаграмма коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений в линии 0,38 кВ ТП-5 (осень)

Условно негативные последствия перекоса фаз можно разделить на три группы:

1) последствия для электроприемников (приборов, оборудования), связанные с их повреждениями, отказами, увеличением износа, уменьшением периода эксплуатации;

2) последствия для источников электроэнергии (увеличение износа, повреждения, увеличение энергопотребление при питании от госсети, повышенный расход топлива, масла, охлаждающей жидкости при питании от генератора, повреждения генератора, уменьшение периода его эксплуатации);

3) последствия для потребителей, связанные с безопасностью, так как ухудшение качества изоляции может привести к:

- электротравматизму;
- возгоранию электропроводки или электроприемников;
- а также последствия, связанные с увеличением расходов на:
 - электроэнергию;
 - расходные материалы для генератора;
 - ремонт электроприемников, поврежденных вследствие перекоса фаз;
 - приобретение новых электроприемников, отказавших вследствие перекоса фаз.

Традиционные способы решения проблем, связанных с электроэнергией низкого качества

Для обеспечения заданного напряжения на каждой из фаз традиционно используются стабилизаторы напряжения. В бытовых условиях применяют однофазные стабилизаторы напряжения, которые обеспечивают защиты отдельных электроприемников или небольшой их группы. В промышленных условиях используются трехфазные стабилизаторы напряжения различной

мощности, которые конструктивно состоят из трех однофазных стабилизаторов напряжения.

Принцип их действия таков, что они реагируют на отклонения на каждой отдельно взятой фазе и поднимают или опускают напряжение до необходимого уровня на своей фазе, провоцируя изменения напряжений на двух других фазах и являясь, таким образом, вторичной причиной возникновения перекоса фаз.

Из изложенного выше ясно, что трехфазные стабилизаторы напряжения фактически не решают поставленную перед ними задачу, так как сами провоцируют несимметрию трехфазной системы. Помимо своего основного недостатка трехфазные стабилизаторы напряжения потребляют значительное количество электроэнергии и требуют значительных сервисных расходов, так как обладают низкой надежностью – и электромеханические, и электронные стабилизаторы напряжения имеют быстроизнашивающиеся и часто отказывающиеся детали.

Альтернативная технология

Для решения задачи по устранению перекоса фазных напряжений и обеспечения заданного фазного напряжения необходимо использовать технологию, которая позволит выравнять напряжение не на каждой из фаз по отдельности, а симметризовать фазы между собой, то есть симметризовать всю трехфазную систему. Такое устройство обладает значительно большей эффективностью, оно не только само потребляет меньше электроэнергии, но и снижает электропотребление из сети для электроприемников.

Преимущества использования такой технологии:

Экономичность:

- снижение уровня энергопотребления из сети при сохранении нагрузки;
- снижение расходов на электроэнергию для питания электроприемников;
- снижение расходов электроэнергии и других ресурсов на обеспечение необходимой величины фазных напряжений;
 - снижение расходов на топливо, масло, охлаждающую жидкость при питании от генератора;
 - снижение расходов на генератор, так как технология позволяет использовать генератор меньшей мощности для той же группы приборов;
 - снижение расходов на ремонт, сервисное обслуживание, приобретение электроприемников, поврежденных вследствие перекоса фаз;
 - снижение расходов на ремонт, сервисное обслуживание, приобретение устройств, предназначенных для обеспечения заданной величины напряжения и обладающих низкой надежностью и низкой эффективностью (например, электромеханических и электронных трехфазных стабилизаторов напряжения).

• обеспечение возможности подключать фазных потребителей мощностью до 50 % трехфазной мощности.

Надежность

1. Надежность электроприемников. Защита, обеспечение их устойчивой и безотказной работы.

2. Надежность устройства для симметрирования фазных нагрузок и устранения перекоса фазных напряжений. Принцип работы устройства основан на перемагничивании обмоток. Отсутствие подвижных и электронных частей делает устройство исключительно надежным, практически безотказным.

3. Надежность источника электроэнергии. Защита генератора от механических повреждений подшипников валов генератора и приводного двигателя вследствие перекоса фаз.

Безопасность

1. Защита от электротравматизма, возгорания электропроводки или электроприемников, вызванных износом изоляции вследствие перекоса фаз.

2. Обеспечения безопасности за счет применения защитной меры зануление.

Диапазон изменения фазных напряжений

Представленная технология устраняет перекос фазных напряжений во всем диапазоне их изменений независимо от причины перекоса (рис. 9): (1) перекос в подводящей питающей сети, вызванный неисправностями в распределительной сети, (2) неравномерное распределение фазных нагрузок, (3) подключение мощного потребителя, (4) комбинированные причины.

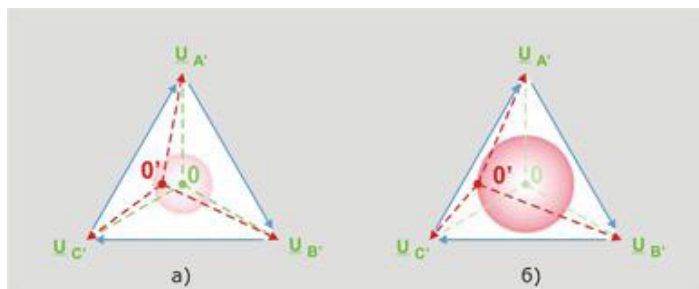


Рисунок 9 – Диапазон перекоса фазных напряжений.

Прикладные задачи, решаемые с помощью применения представленной технологии

Устранение перекоса фазных напряжений, т.е. выравнивание фаз сети друг относительно друга.

- Равномерное распределение нагрузок по фазам.
- Обеспечение заданной величины линейных напряжений.
- Обеспечение заданной величины фазных напряжений.
- Преобразование трехфазной сети в одно-(двух) фазную:
 - с гальванической развязкой
 - без гальванической развязки питающей сети и потребителя;
 - с изменением (увеличением или уменьшением) выходного напряжения;
- Преобразование трехфазной трехпроводной сети в трехфазную четырехпроводную (т.е. формирование нулевого рабочего проводника для возможности подключения фазной нагрузки).

Ниже на рисунках 10-12 представлены варианты подключения нагрузки без использования представленной технологии и с использованием представленной технологии.



Рисунок 10 – Подключение нагрузки напрямую к сети

Подключение мощного однофазного электроприемника вызывает перекос фаз и повышает риск его повреждений и повреждений других электроприемников. Если мощность такого фазного потребителя превышает треть трехфазной мощности, это вызывает его неправильную работу (сбой, отключение, отказ).

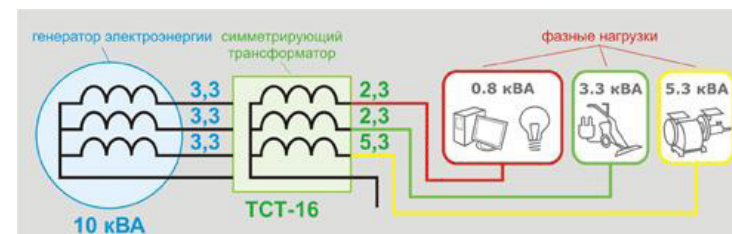


Рисунок 11 – Подключение более мощной нагрузки к тому же (см. рис. 9) источнику электроэнергии с использованием представленной технологии

Максимальная нагрузка на одну фазу может составлять 50 % от трехфазной мощности источника электроэнергии. Источник электроэнергии воспринимает нагрузку как равномерно распределенную по фазам.

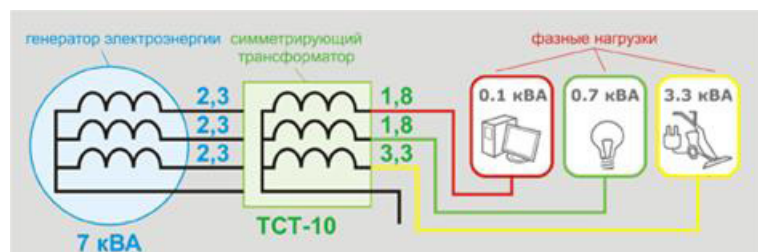


Рисунок 12 – Подключение той же нагрузки (см. рис. 9) к генератору меньшей мощности с использованием представленной технологии

Представленная технология позволяет подключать ту же группу электроприемников к генератору электроэнергии меньшей мощности, при этом источник электроэнергии будет воспринимать нагрузку как равномерно распределенную по фазам.

ВЫВОДЫ

Массовое внедрение такой технологии позволит более рационально использовать электроэнергию, снизить ее потери; обеспечивать тех же потребителей (группы электроприемников) меньшим количеством электроэнергии; снизить затраты на электроэнергию, затраты на топливо, масло, охлаждающую жидкость при питании от генератора; продлить срок службы электроприемников, уменьшить их износ, обеспечить безотказную работу электроприемников; снизить расходы на источники электроэнергии, так как для той же группы электроприемников возможно использование генератора меньшей мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шапкенов, Б. К., Акаев, А. М., Динмуханбетова, А. Ж., Кайдар, А. Б. Электрлік жүйелерде ақпарат пен энергетикалық процестердің байланысы. Материалы Международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVI Саптаевские чтения». – Павлодар, ПГУ. – Т. 26. – С. 393-396. ISBN 978-601-238-613-4 (Т. 26).

2 Кайдар, А. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Волгин, М. Е., Шапкенов, Б. К. Системное регулирование энергопотребления для оптимизации параметров систем электроснабжения. Материалы

международной научно-технической конференции «VI чтения Ш. Шокина». – 10 октября 2014 года. – С. 67-70, ISBN 978-601-238-128-3

3 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. – С. 153-157.

4 Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Шахман, Е. Т., Жетписов, О. К. К выбору эффективных режимов работы электромеханических систем по критериям энергетической эффективности или позиционирования. Сб. МНПК «Научно-технический прогресс в металлургии», Карагандинский государственный индустриальный университет. – Караганда, 2015.

5 Bay, Yu.M., Rasulov, N. M., Nosov, A. N., Kaidar, A. B., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Shapkenov, B. K. Symmetrical and unsymmetrical regimes of cascaded H-bridge m-level inverter. Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: Сборник докладов 4-й международной научно-практической конференции в рамках выставки «Энергосбережение. Отопление. Вентиляция. Водоснабжение» (27-29 мая 2015 г.). – Екатеринбург : ЗАО «Уральские Выставки, 2015. – С. 14-18.

Материал поступил в редакцию 10.06.16.

А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², Д. Т. Шонаев³, М. Б. Кайдар⁴, В. П. Марковский¹, Д. С. Шарипиденов¹

Үш фазалық жүйелердің симметриялауы

¹С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

²АҚ «БС ЕЭЖА ХимПарк Тараз», Шу қ.

³Қазақ-Түрік лицейі;

⁴АҚ «КазТрансГаз».

Материал 10.06.16 баспаға түсті.

A. P. Kislov¹, B. K. Shapkenov¹, A. B. Kaydar², D. T. Shonaev³, M. B. Kaydar⁴, V. P. Markovskiy¹, D. S. Sharapidenov¹

Balancing three-phase systems

¹S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar;

²SEZ «Chemical Park», Shu;

³Kazakh-Turkish Lyceum;

⁴JSC «KazTransGas».

Material received on 10.06.16.

Мақалада желілерге симметриялық емес тәртіптерге 0,4 кВ қарастырылған. Симметриялы емес талдау көрсетілген. Процесстердің және симметриялы емес жою жолдың диаграммалары келтірілген.

The article describes the asymmetric modes in 0.4 kV networks. There is given an asymmetry analysis. The diagrams of the processes and ways of asymmetry elimination are presented.

УДК 621.3

**А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар²,
Д. Т. Шонаев³, М. Б. Кайдар⁴, В. П. Марковский¹,
Д. С. Шарapidенов¹**

¹Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, ²АО «УК СЭЗ ХимПарк Тараз», г. Шу; ³Казахско-турецкий лицей, ⁴АО «КазТрансГаз»
e-mail: ¹kislovpsu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,38 КВ

В статье приведен статистический анализ результатов исследований показателей качества электрической энергии, проведенных в распределительной сети напряжением 0,38 кВ.

Ключевые слова: несимметрия напряжения, однофазные нагрузки, дополнительные потери, коэффициенты обратной и нулевой последовательностей напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

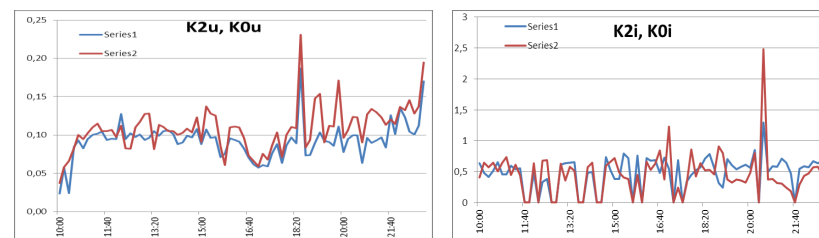
Несимметрия напряжений происходит только в трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам. Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности (K_{0U}) одного 9-ти этажного жилого дома может составлять 20 %, что на шинах трансформаторной подстанции (точке общего присоединения) может превысить нормально допустимые 2 % [1]. Эти проблемы имеются повсеместно. Поэтому в статье подняты вопросы несимметрии,

приведены статистические данные по ряду нагрузок г. Экибастуза и его сельской зоны.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Статистический анализ результатов исследований показателей качества электрической энергии, проведенных в распределительной сети напряжением 0,38 кВ на 3-х трансформаторных подстанциях: ТП 5, ТП 9, ТП 17 (на 9-ти отходящих линиях). Измерения проводились в период с 2015 – 2016 г.г. В качестве примера рассмотрим одну из трансформаторных подстанций ТП5 10/0,4 кВ, осуществляющую электроснабжение по сети 0,38 кВ коммунально-бытовую и производственную нагрузку.

На рисунке 1 представлены графики изменения показателей несимметрии токов и напряжений в исследуемой сети от времени измерения. Данные по изменению этих коэффициентов могут быть представлены как случайный процесс, поэтому для анализа и дальнейшего прогноза изменения рассматриваемых показателей качества электрической энергии можно применить методы теории вероятностей и математической статистики.



а) б)
Рисунок 1 – Графики изменения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов (а) и напряжений (б) в сети 0,38 кВ

Рассмотрим алгоритм статистического исследования показателей качества электрической энергии на примере анализа коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям (рис. 1 а) [2].

1. Среднее арифметическое значение коэффициентов обратной и нулевой последовательности напряжений:

$$K_{2Ucp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{2Ui}; \quad K_{0Ucp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{0Ui}, \quad (1)$$

где K_{2U_i} и K_{0U_i} – значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям в каждый момент времени 10-ти минутного интервала измерения;

N – количество измерений.

По выражению (1) определяем среднее арифметическое значение коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения (рис. 1) которые составляют соответственно 9 % и 11 %.

Таким образом, среднее значение коэффициента обратной последовательности напряжения соответствует нормальным значениям, установленным ГОСТ 32144-2013, а среднее значение коэффициента нулевой последовательности напряжения в 4,5 раза превышает установленные ГОСТом нормальные (2 %) и в 2,3 раза (4 %) – максимальные значения, кроме того, исследуемого промежутка времени коэффициент обратной и нулевой последовательности выходит за пределы нормальных значений, на 100% превышает установленные ГОСТом.

2. Определяем дисперсию коэффициентов K_{2U} и K_{0U} , которая характеризует степень разброса значений этих коэффициентов около их среднего значения:

$$D_{K_{2U}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (K_{2U_i} - K_{2U_{cp}})^2; D_{K_{0U}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (K_{0U_i} - K_{0U_{cp}})^2 \quad (2)$$

Определённые по выражению (2) значения дисперсий для коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения составили соответственно 0,054 (%) и 6,666 (%).

3. Составим таблицы распределения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения, которые необходимы для определения законов их распределения (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Распределение коэффициента обратной последовательности напряжения

Значение K_{2U} в интервалах измерения, %	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Число повторений в измерениях	0	2	3	11	39	17	4	0	1	1	0	0

Таблица 2 – Распределение коэффициента нулевой последовательности напряжения

Значение K_{2U} в интервалах измерения, %	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Число повторений в измерениях	0	1	2	7	15	30	17	3	1	1	0	1

4. Определим вероятность появления i -го исхода значений обратной и нулевой последовательностей напряжения по выражениям:

$$P_{K_{2U_i}} = \frac{n_{K_{2U_i}}}{N}; \quad P_{K_{0U_i}} = \frac{n_{K_{0U_i}}}{N}; \quad (3)$$

где $n_{K_{2U_i}}$, $n_{K_{0U_i}}$ – количество исходов соответственно напряжений обратной и нулевой последовательностей (по табл. 1 и 2);

N – общее количество измерений. на основании полученных значений представим закон распределения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения (табл. 3 и 4).

Таблица 3 – Закон распределения для коэффициента обратной последовательности напряжения

Число повторений в измерениях	0	2	3	11	39	17	4	0	1	1	0	0
Вероятность появления i -го исхода значений обратной последовательности P_{2U}	0	0,02564102	0,03846153	0,14102564	0,5	0,21794871	0,0512820	0	0,0128205	0,0128205	0	0

Таблица 4 – Закон распределения для коэффициента нулевой последовательности напряжения

Число повторений в измерениях	0	1	2	7	15	30	17	3	1	1	0	1
Вероятность появления i -го исхода значений нулевой последовательности P_{0U}	0	0,01282051	0,025641026	0,08974359	0,192307692	0,384615385	0,217948718	0,038461538	0,012820513	0,01282051	0	0,012820513

5. Для полученных законов распределения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения определим их математическое ожидание

$$M(K_{2U}) = \sum(K_{2U} \cdot p_{K_{2U}}), \quad M(K_{0U}) = \sum(K_{0U} \cdot p_{K_{0U}}). \quad (4)$$

По выражению (4) определяем математическое ожидание:

$M(K_{2U}) = 10,282\%$ – коэффициента обратной последовательности напряжения;

$M(K_{0U}) = 11,923\%$ – коэффициента нулевой последовательности напряжения.

6. Определяем дисперсию по выражениям:

$D(K_{2U}) = 0,0546(\%)^2$ – коэффициента обратной последовательности напряжения;

$D(K_{0U}) = 6,6666(\%)^2$ – коэффициента нулевой последовательности.

7. Определяем среднеквадратическое отклонение по выражениям:

$$\sigma_{D(K_{2U})} = \sqrt{D(K_{2U})}; \quad \sigma_{D(K_{0U})} = \sqrt{D(K_{0U})}, \quad (5)$$

Для коэффициента обратной последовательности напряжения

$\sigma_{D(K_{2U})} = 2,338\%$ и коэффициента нулевой последовательности напряжения

$\sigma_{D(K_{0U})} = 25,819\%$.

8. Построим полигон и гистограмму распределения для коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения (рис. 3.15 2, 3.16).

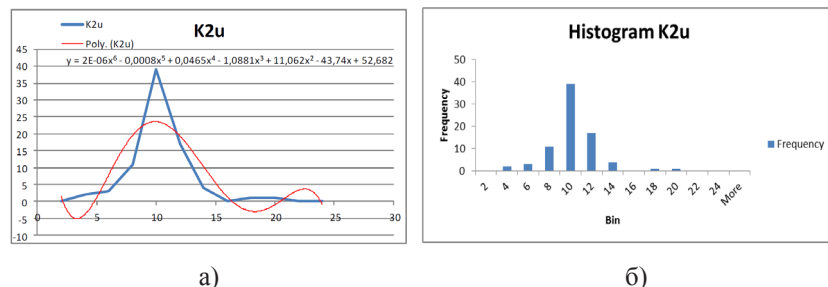


Рисунок 2 – Полигон (а) и гистограмма (б) распределения коэффициента обратной последовательности напряжения K_{2U} в сети 0,38 кВ

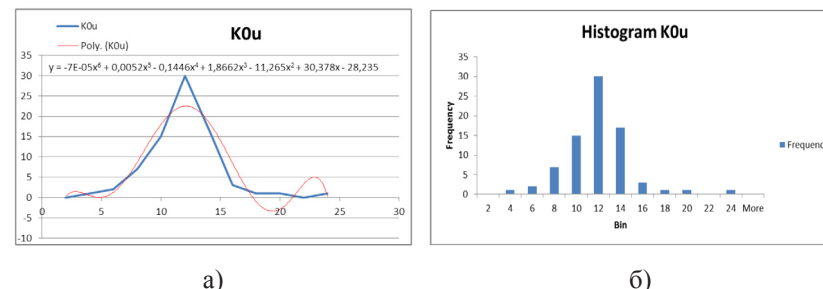


Рисунок 3 – Полигон (а) и гистограмма (б) распределения коэффициента нулевой последовательности напряжения в сети 0,38 кВ K_{0U}

Анализ гистограмм (рис. 2 и 3) показывает, что нормированное значение коэффициента обратной последовательности напряжения (2 %) в рассматриваемой электрической сети 0,38 кВ возникает с вероятностью ноль, а для коэффициента нулевой последовательности напряжения такой вероятности не существует вообще. Максимально допустимое значение коэффициента P_{2U} (до 4 %) может возникать с вероятностью его появления 0,025. Остальной, рассматриваемый период времени, значение коэффициента обратной последовательности напряжения, появляющееся с разной степенью вероятности (рис. 2 и 3), выходят за рамки значений, установленных ГОСТ 32144-2013. Вероятность появления максимального значения коэффициента нулевой последовательности напряжения в рассматриваемом интервале времени равна нулю.

9. Поставим следующую задачу: как коррелируются интервалы измерения и коэффициенты обратной и нулевой последовательности напряжения. Для этого необходимо определить коэффициент корреляции. Коэффициент корреляции представляет собой числовую характеристику, показывающую, насколько рассматриваемые случайные величины независимы.

Коэффициент корреляции определяется в следующем порядке:

а) находится математическое ожидание интервалов измерения:

$$M(N) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i; \quad (6)$$

б) определяется математическое ожидание произведения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения на соответствующие интервалы измерения

$$M(T \cdot K_{2U}) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i \cdot K_{2U_i}; \quad M(T \cdot K_{0U}) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i \cdot K_{0U_i}; \quad (7)$$

в) находим корреляционный момент:

$$\left. \begin{aligned} K(T, K_{2U}) &= M(T \cdot K_{2U}) - M(T) \cdot M(K_{2U}); \\ K(T, K_{0U}) &= M(T \cdot K_{0U}) - M(T) \cdot M(K_{0U}); \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

г) дисперсия интервалов измерения:

$$D(T) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (T_i - M(T))^2; \quad (9)$$

д) коэффициент корреляции:

– для коэффициента обратной последовательности напряжения:

$$r(T, K_{2U}) = \frac{M(TK_{2U}) - M(T) \cdot M(K_{2U})}{\sqrt{D(K_{2U})} \cdot \sqrt{D(T)}}, \quad (10)$$

– для коэффициента нулевой последовательности напряжения:

$$r(T, K_{0U}) = \frac{M(TK_{0U}) - M(T) \cdot M(K_{0U})}{\sqrt{D(K_{0U})} \cdot \sqrt{D(T)}}. \quad (11)$$

Проведя соответствующие преобразования по выражениям (6-11), определим коэффициент корреляции:

– для коэффициента обратной последовательности напряжения:

$$r(T, K_{2U}) = -3,195;$$

– для коэффициента нулевой последовательности напряжения:

$$r(T, K_{0U}) = -0,176;$$

Коэффициенты корреляции определённой величины (интервалы измерения) и случайных величин, равные для коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения, соответственно 0,25939 и 0,43107 позволяют сделать вывод о том, что эти величины коррелированы, но их корреляция выражается более сложной зависимостью, чем линейная.

10. Непрерывные случайные величины имеют функции распределения, по которым можно предсказывать вероятности появления случайного события. Функции распределения могут быть параметрическими (регламентированными) и непрерывными (нерегламентированными). Подберём непрерывные функции распределения для заданной информации о распределении коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжения. Вероятно, равномерное распределение здесь не происходит, так как согласно построенным полигонам (рис. 2 и 3), имеется выраженный максимум, равный для коэффициента обратной последовательности напряжения 0,217 и 0,384 – для коэффициента нулевой последовательности напряжения. Предположим, что заданная информация подчиняется нормальному закону распределения. эти функции параметрические:

математическое ожидание – $M(K_{2U}) = 10,28\%$, $M(K_{0U}) = 11,92\%$ и дисперсия – $D(K_{2U}) = 0,0546(\%)^2$, $D(K_{0U}) = 6,6666(\%)^2$ (или среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_{D(2U)} = 2,338\%,$$

$$\sigma_{D(0U)} = 25,819\%.$$

Тогда функции нормального распределения запишутся следующим образом:

$$f(K_{2U}) = 2,91 \cdot e^{-\frac{(K_{2U}-10,31)^2}{0,109}}; \quad f(K_{0U}) = 0,024 \cdot e^{-\frac{(K_{0U}-11,92)^2}{0,109}}. \quad (12)$$

Кроме того, как показано в [4, 5], несимметрия токов по обратной и нулевой последовательностям приводит к значительным дополнительным потерям мощности и электрической энергии, которые можно оценить коэффициентом увеличения соответствующих потерь. Этот коэффициент представляет собой отношение потерь мощности в несимметричном режиме к потерям мощности, обусловленным протеканием токов только прямой последовательности. на основе произведённых измерений, произведен расчет данного коэффициента по методике, изложенной в [3]. Произведем также статистическую обработку результатов этих исследований. На рисунке 4 представлен график изменения коэффициента увеличения потерь мощности в сети 0,38 кВ.

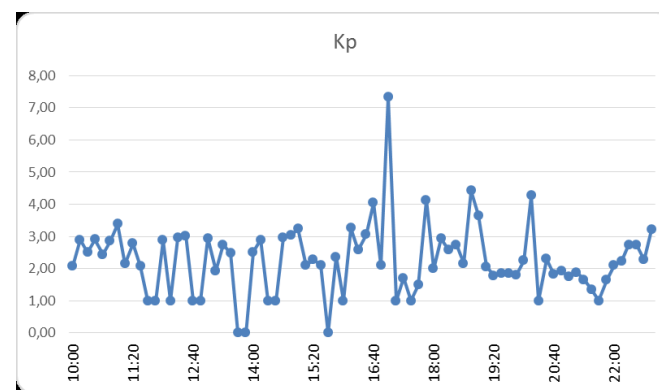


Рисунок 4 – График изменения коэффициента увеличения потерь мощности в сети 0,38 кВ

Статистический анализ, проведённый по вышеизложенной методике, позволил определить следующие показатели:

- математическое ожидание $M(K_p) = 1,846 \%$;
- дисперсия $D(K_p) = 1,196(\%)^2$;
- среднеквадратическое отклонение $D(K_p) = 1,094 (\%)^2$;
- коэффициент корреляции $r(T, K_p) = 0,013$.

Полигон и гистограмма распределения коэффициента потерь мощности представлены на рисунке 5.

В соответствии с принятым нормальным законом распределения определим его функцию:

$$f(K_p) = 6,87 \cdot e^{-\frac{(K_p - 1,85)^2}{2,19}} \quad (13)$$

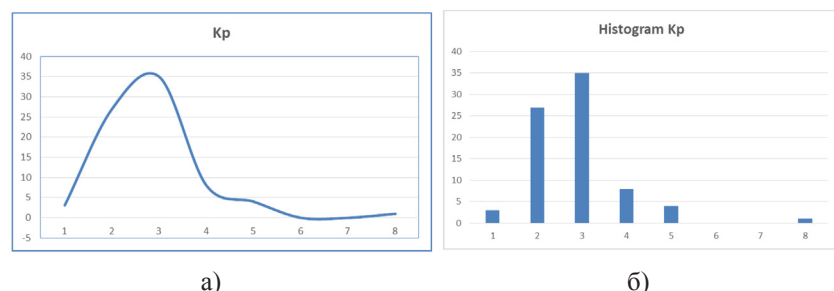


Рисунок 5 – Полигон (а) и гистограмма (б) распределения коэффициента увеличения потерь мощности в сети 0,38 кВ

Полученные выражения(12 и 13) позволяют определить значение необходимого показателя несимметрии напряжения или коэффициента потерь мощности для любой точки рассматриваемого временного ряда.

ВЫВОДЫ

Таким образом, среднее значение коэффициента обратной последовательности напряжения соответствует нормальным значениям, установленным ГОСТ 32144-2013, а среднее значение коэффициента нулевой последовательности напряжения в 4,5 раза превышает установленные ГОСТом нормальные (2 %) и в 2,3 раза (4 %) – максимальные значения, кроме того, исследуемого промежутка времени коэффициент обратной и нулевой последовательности выходит за пределы нормальных значений, на 100 % превышает установленных ГОСТом.

Исходя из анализа следует, что для снижения дополнительных потерь, вызванных несимметрией напряжения, целесообразно выполнить перегруппировку нагрузки по фазам или установить устройства симметрирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Шапкенов, Б. К., Акаев, А. М., Динмуханбетова, А. Ж., Кайдар, А. Б. Электрлік жүйелерде ақпарат пен энергетикалық процестердің байланысы. Материалы Международной научной конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVI Сатпаевские чтения». – Павлодар, ПГУ. Т. 26. – С. 393-396.

2 Кайдар, А. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Волгин, М. Е., Шапкенов, Б. К. Системное регулирование энергопотребления для оптимизации параметров систем электроснабжения. Материалы международной научно-технической конференции «VI чтения Ш. Шокина». – 10 октября 2014 года. – С. 67-70.

3 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. – С. 153-157.

4 Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Кислов, А. П., Шапкенов, Б. К., Шахман, Е. Т., Жетписов, О. К. К выбору эффективных режимов работы электромеханических систем по критериям энергетической эффективности или позиционирования. Сб. МНПК «Научно-технический прогресс в металлургии», Карагандинский государственный индустриальный университет. – Караганда, 2015.

5 Bay, Yu. M., Rasulov, N. M., Nosov, A. N., Kaidar, A. B., Kislov, A. P., Markovsky, V. P., Shapkenov, B. K. Symmetrical and unsymmetrical regimes of cascaded H-bridge m-level inverter. Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: Сб. докладов 4-й МНПК «Энергосбережение. Отопление. Вентиляция. Водоснабжение». – Екатеринбург : ЗАО «Уральские Выставки, 2015. – С. 14-18.

Материал поступил в редакцию 10.06.16.

*А. П. Кислов¹, Б. К. Шапкенов¹, А. Б. Кайдар², Д. Т. Шонаев³,
М. Б. Кайдар⁴, В. П. Марковский¹, Д. С. Шарипиденов¹*

Таратушы желілерде электр энергиялардың 0,38 кВ сапасының және қосымша жоғалтулардың зерттеулері

¹С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

²АҚ «БС ЕЭЖА ХимПарк Тараз», Шу қ.;

³Қазақ-Түрік лицейі;

⁴АҚ «КазТрансГаз».

Материал 10.06.16 баспаға түсті.

*A. P. Kislov¹, B. K. Shapkenov¹, A. B. Kaydar², D. T. Shonaev³, M. B. Kaydar⁴,
V. P. Markovskiy¹, D. S. Sharapidenov¹*

Research and quality of additional electrical energy losses in distribution networks of 0.38 kV

¹S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

²SEZ «Chemical Park», Shu;

³Kazakh-Turkish Lyceum;

⁴JSC «KazTransGas».

Material received on 10.06.16.

Мақалада 0,38 кВ кернеудегі тарату желісінде өткізілген электр энергиясының сапа көрсеткіштерін зерттеу нәтижелерінің статистикалық талдауы келтірілген.

The article presents a statistical analysis of electric energy quality indicators' research, conducted in 0,38 kV distribution networks.

УДК 621.3

**В. С. Копырин¹, В. П. Марковский², Б. К. Шапкенов²,
А. Б. Кайдар², Е. Т. Шахман²**

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия; ²Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Казахстан
e-mail: ²wadim54@mail.ru, ³argin_intel@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В статье описана дифференциальная защита непосредственного преобразователя частоты с трансформаторами тока в качестве датчиков, приведена схема и принцип действия.

Ключевые слова: тиристорные преобразователи напряжения, короткие замыкания, дифференциальная защита, трансформаторы тока, вентили, тиристоры.

ВВЕДЕНИЕ

Распространенными причинами отказов силовых трансформаторов являются внутренние короткие замыкания (КЗ), вызванные пробоями вентиля и пропусками включения вентиля или групп параллельных вентиля, приводящих к перегреву оставшихся в работе приборов и их пробую, а также внешние КЗ [1, 2]. Защита при этих повреждениях направлена на предотвращение развития аварии и создание условий, при которых отказ становится частичным. Между тем, данные по авариям тиристорных преобразователей [3-4] показывают, что защита во многих случаях недостаточна и развивающиеся повреждения приводят к полному отказу системы и аварийному отключению преобразователя. Поэтому, особенности схем и режимов преобразователей определяют необходимость создания специальных защит, позволяющих увеличить надежность преобразователей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Тиристорные преобразователи напряжения (ТПН) получили широкое применение во всех отраслях, причем, область их использования постоянно расширяется [1-3]. Это обусловлено рядом преимуществ данного преобразователя: хорошими регулировочными характеристиками;

высокими энергетическими показателями; отсутствием в большинстве случаев согласующих трансформаторов и реакторов; возможностью работы нагрузки (Н) непосредственно от сети при выводе преобразователя в ремонт; малыми габаритами и массой; относительно невысокой стоимостью; простотой и надежностью в эксплуатации. Применение получили как однофазные, так и трехфазные ТПН для источников питания электрических печей сопротивления. На рис. 1 приведена трехфазная система «ТПН – Н», выполненная на 6 тиристорах VS1÷VS6.

При разработке, проектировании и эксплуатации систем «ТПН – Н» большое внимание уделяется устройствам их защиты [4]. Это объясняется особенностями силовых полупроводниковых приборов (тириستоров, диодов, транзисторов) и высокими требованиями к надежности данных систем. Поэтому все разрабатываемые и используемые системы «ТПН – Н» включают, как правило, несколько однофункциональных устройств защиты от сверхтоков и перенапряжений [4].

Для защиты от внутренних повреждений, вызванных пробоями вентиляей, последовательно с ними включены быстродействующие предохранители, назначение которых – ограничение тока двухфазного короткого замыкания и отключение поврежденного тиристора. Для преобразователей, содержащих параллельные вентили, секции, мосты это основной способ защиты. Между тем, недостаточная надежность быстродействующих предохранителей приводит к тому, что при пробое тиристора наблюдаются случаи их отказов, проявляющихся в неспособности отключить короткое замыкание. В результате длительного протекания по предохранителю аварийного тока, происходит его разрушение, сопровождающееся выбросом ионизированных газов, возникновением перекрытий изоляции с неустойчиво горящими дугами, появлению перенапряжений, новым перекрытиям изоляции и дальнейшему развитию аварии [4].

Перспективным является разработка для системы «ТПН – Н» комплексных (многофункциональных) защит, к которым, в первую очередь, относится дифференциальная защита (ДЗ). Такой подход применения ДЗ для систем «ТПН – Н» базируется на успешном создании и применении ДЗ для неуправляемых и управляемых полупроводниковых выпрямителей [4-6].

Базовая схема ДЗ трехфазной системы «ТПН – Н» приведена на рис. 1. В качестве нагрузки Н может рассматриваться электрическая печь сопротивления и другие электротехнологические установки. Датчиками тока на входе и выходе ТПН являются измерительные трансформаторы тока, что позволяет использовать ДЗ для ТПН и Н напряжением до и выше 1000 В.

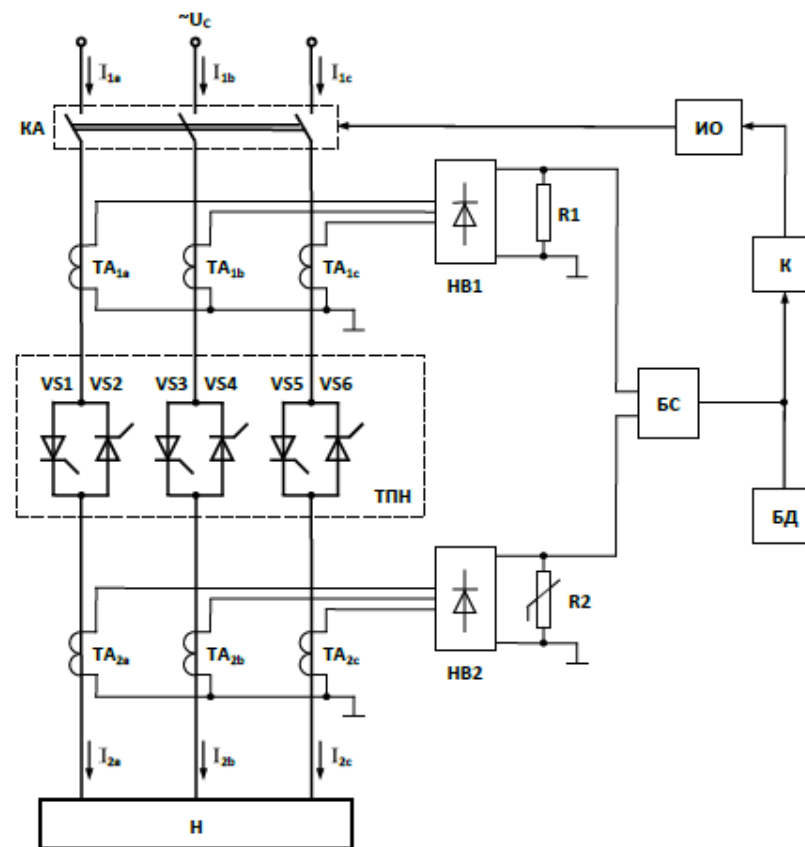


Рисунок 1 – Дифференциальная защита системы «ТПН – Н»: ТПН – трехфазный тиристорный преобразователь напряжения; Н – нагрузка; КА – трехфазный коммутационный аппарат; TA_{1a}, TA_{1b}, TA_{1c} и TA_{2a}, TA_{2b}, TA_{2c} – датчики тока в фазах на входе и выходе ТПН; НВ1, НВ2 – трехфазные неуправляемые выпрямители; БС – блок сравнения токов; К – компаратор; БД – блок диагностики; ИО – исполнительный орган

Дифференциальная защита системы «ТПН – Н» не вносит помех в нормальных режимах работы преобразователя и нагрузки и функционирует при возникновении следующих аварийных режимов:

- однофазные, двухфазные и трехфазные короткие замыкания внутри ТПН;

– однофазные, двухфазные и трехфазные короткие замыкания на входе и внутри нагрузки;

– превышение нагрузки больше номинального значения (перегрузка системы «ТПН – Н»).

В нормальном режиме работы системы «ТПН – Н» (от холостого хода до номинальной нагрузки) фазные токи на входе и выходе ТПН равны: $I_{1a} = I_{2a}; I_{1b} = I_{2b}; I_{1c} = I_{2c}$. При этом первые участки вольт-амперных характеристик линейного резистора R1 и нелинейного резистора R2 линейны и аналогичны. Поэтому входные токи блока сравнения БС равны, а ток на его выходе равен нулю. Следовательно, компаратор К и исполнительный орган ИО находятся в исходном состоянии, а коммутационный аппарат КА включен.

При внутренних замыканиях в ТПН нарушается равенство входных и выходных фазных токов и соответственно входных токов БС. В результате ДЗ срабатывает, и аппарат КА отключает систему «ТПН – Н» от сети. Блок диагностики БД регистрирует наличие аварийного режима.

При коротком замыкании в нагрузке или между ТПН и Н, а также при перегрузках системы «ТПН – Н», ДЗ срабатывает аналогично из-за несоответствия вторых участков вольт-амперных характеристик линейного резистора R1 и нелинейного резистора R2 (когда ток превышает номинальный).

Правильное проектирование нелинейного участка резистора R2 позволяет исключить срабатывание ДЗ при кратковременных перегрузках системы «ТПН – Н».

ВЫВОДЫ

Несмотря на то, что с каждым годом появляются новые защиты, разработка и исследование дифференциальных защит однофазных и трехфазных систем «ТПН – Н» большой мощности, проводимых на кафедре «Электроэнергетика» Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова до настоящего времени не потеряла актуальности.

Предложен оригинальный способ и разработан алгоритм работы защиты, удовлетворяющий требованиям предъявляемым быстродействующим защитами и обеспечивающий гарантированное отключение преобразователя при коротких замыканиях.

Новый способ и устройство защиты мощного тиристорного преобразователя от развивающихся коротких замыканий; результаты теоретических и экспериментальных исследований электромагнитных процессов при развивающихся коротких замыканиях в преобразователях, предложенный авторами алгоритм защиты позволят разработчикам усовершенствовать имеющиеся в эксплуатации защиты, что обеспечит надежность работы электрооборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Справочник электроэнергетика предприятий цветной металлургии / Под ред. М. Я. Басальгина, В. С. Копырина. – М. : Металлургия, 1991. – 296 с.

2 Применение тиристорных преобразователей напряжения для электропривода, электротехнологии и освещения на предприятиях цветной металлургии. В. С. Копырин, Е. Г. Бородацкий, А. А. Ткачук, В. В. Бородацкая // Материалы науч.-техн. конф. «Наука и новые технологии в энергетике. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2002. – С. 78-86.

3 Тиристорный преобразователь для плавного пуска высоковольтных асинхронных двигателей / А. А. Ткачук, В. К. Кривовяз, В. С. Копырин, А. Ю. Силуков. Силовая электроника. – 2007. – № 1. – С. 23-28.

4 Глух, Е. М., Зеленов, В. Е. Защита полупроводниковых преобразователей. – М. : Энергоиздат, 1982. – С. 189.

5 А.С. № 1319154 (СССР). Устройство для дифференциальной защиты преобразовательной установки / В. С. Копырин. Б.И. – 1987. – № 23.

6 Патент № 4361. Республика Казахстан. Устройство для дифференциальной защиты преобразователя / В. С. Копырин, В. П. Марковский. – Бюл. – № 1. – 1997.

Материал поступил в редакцию 15.06.16.

В. С. Копырин¹, В. П. Марковский², Б. К. Шапкенов², А. Б. Кайдар², Е. Т. Шахман²

Электр пештерінің қарсыласуының дифференциалды қорғау ерекшеліктері

¹Ресейдің бірінші президенті Б. Н. Ельцин атындағы Урал федералдық университеті, Ресей;

²С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан.
Материал 15.06.16 баспаға түсті.

V. S. Kopyrin¹, V. P. Markovski², B. K. Shapkenov², A. B. Kaydar², E. T. Shakhman²

Features of differential protection in electrical resistance furnace

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Russia;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan.
Material received on 15.06.16.

Бұл мақалада схема және қағида әсерлері келтірген құрылғы сапасындағы тоқ трансформаторларымен тікелей түрлендіргіштің жиіліктерінің дифференциалды қорғау суреттелген.

The article describes the differential protection of the direct frequency converter with current transformers as sensors; a diagram and function are presented.

УДК 621.311.212

**Б. В. Лукутин¹, Р. М. Мустафина², Е. Ж. Сарсикеев³,
М. А. Сурков¹**

¹д.т.н., профессор, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; ²к.т.н., доцент, профессор, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан; ³ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан; ⁴к.т.н., доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
e-mail: mustafina_rm@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ УСТАНОВЛЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ВЕТРО- И ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРОВ В АВТОНОМНЫХ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье исследованы и выявлены условия выбора оптимальных параметров ветроустановки от соотношения установленных мощностей генерирующих установок с точки зрения максимальной эффективности использования энергии ветра и минимизации расхода дизельного топлива.

Ключевые слова: ветроустановки, ветродизель, генератор, электроснабжение, энергия дизельное топливо.

ВВЕДЕНИЕ

В отдаленных районах с учетом экстремальных природно-климатических условий особенно важным является надежность работы

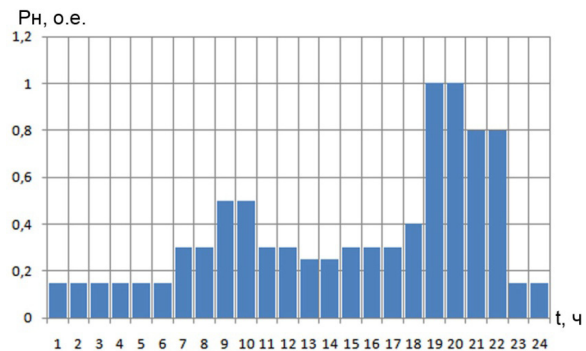
системы энергоснабжения (тепло- и электроснабжения) для обеспечения жизнедеятельности человека. В качестве источников электроэнергии в этих регионах широко применяются дизельные или бензиновые электростанции; в себестоимости вырабатываемой на них энергии топливная составляющая с учетом затрат на доставку составляет более 60% [1]. Энергетическая стратегия стран ЕАЭС в средней и долгосрочной перспективе предусматривает замещение органических энергоносителей возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Использование ВИЭ (в частности, энергии ветра) в составе автономных ветродизельных комплексов электроснабжения (АВДК) позволяет повысить надежность электроснабжения и энергоэффективность за счет снижения топливной составляющей в себестоимости производимой электроэнергии. Отечественные и зарубежные специалисты отмечают актуальность и перспективность применения ВИЭ не только в целях экономии традиционных видов топлива, но и сокращения вредного влияния отходов сжигания органического топлива на окружающую среду.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

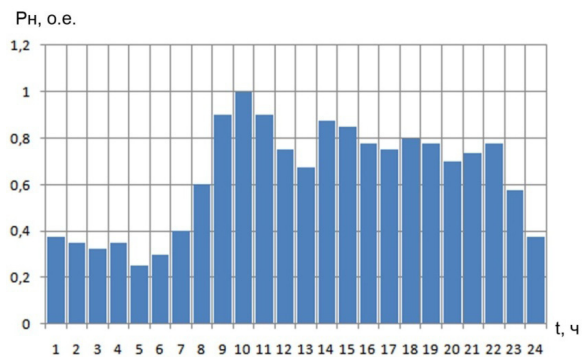
Оптимальность выбора ветроустановки зависит от соотношения мощностей ветро- и дизель-генератора с точки зрения максимальной эффективности использования энергии ветра с одной стороны и минимизации расхода топлива дизельной электростанции с другой. В настоящей работе исследованы режимы работы ветродизельной электростанции с различным соотношением установленных мощностей и различными ветровыми условиями, а значит и различной выработкой ветрогенератором электроэнергии. Ветровые условия выбраны в соответствии с типичным распределением скоростей ветра для Томской области и значением среднеквадратичной скорости ветра 0,766 от номинальной скорости ветра ветроустановки V_{nom} .

Исходные данные для моделирования мощностей ветродизельного комплекса:

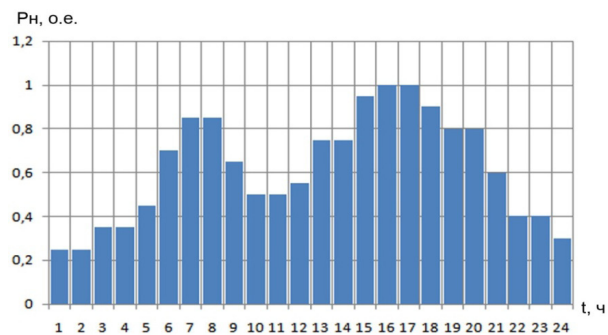
- схемы АВДК класса 1, класса 2, класса 3 [2],
- мощность нагрузки максимальная $P_{n_{max}} = 1$ о.е.,
- установленная мощность дизель-генератора $P_{дэс} = 1,15$ о.е.,
- установленная мощность ветрогенератора $P_{вэс} = var$ (переменная), о.е.,
- установленная мощность блока аккумуляторных батарей $P_{аб} = 0$ о.е.,
- графики нагрузки для исследования в соответствии с:
рисунок 1, а – коммунально-бытовая (С/Х),
рисунок 1, б – производственная (Wood),
рисунок 1, в – смешанная (Parn).



а)



б)



в)

Рисунок 1

Эффективность работы ветроустановки, при исследуемом графике нагрузки, можно оценивать по отношению количества выработанной электрической энергии ($P_{ВЭС}^Э$) к электроэнергии, которую технически возможно выработать на этой ветроэнергетической установке с данными ветровыми условиями ($P_{ВЭС}^{ТЕХ}$).

$$K_{И.ВЭС}^{ТЕХ} = P_{ВЭС}^Э / P_{ВЭС}^{ТЕХ}.$$

Изменение эффективности работы ветроустановки при исследуемых графиках нагрузки в зависимости от соотношения установленных мощностей ВЭС и ДЭС представлено на графике (рисунок 2).

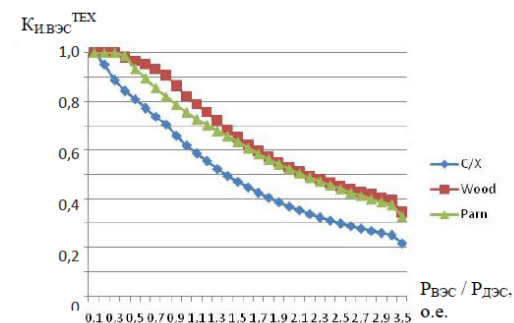


Рисунок 2 – Изменение коэффициента использования технического потенциала $K_{И.ВЭС}^{ТЕХ}$ в зависимости от соотношения установленных мощностей $P_{ВЭС} / P_{ДЭС}$ в АДК, класс 1

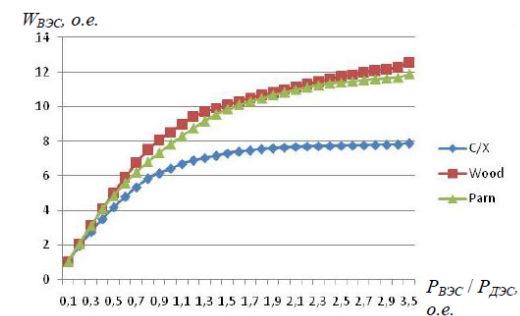


Рисунок 3 – Количество электроэнергии, выработанное ветрогенератором за сутки $W_{ВЭС}^Э$ в зависимости от соотношения установленных мощностей ВЭС и ДЭС в АДК класса 1

На рисунке 3 представлена зависимость изменения количества выработанной и потребленной электроэнергии ветроэнергетической установки в зависимости от соотношения установленных мощностей ВЭС и ДЭС при совместной работе в автономном ветродизельном комплексе электроснабжения.

На рисунке 4 представлена зависимость расхода топлива ДЭС за сутки от соотношения установленных мощностей $P_{ВЭС} / P_{ДЭС}$ при работе АВДК на исследуемые графики электрических нагрузок. Из полученных графиков (рисунки 2, 3, 4) можно сделать вывод, что изменение графика нагрузки при сохранении неизменными коэффициента заполнения графика нагрузки K_3 и коэффициента неравномерности графика нагрузки КН, не оказывает существенного влияния на коэффициент использования технического потенциала ВЭС $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$ в составе АВДК.

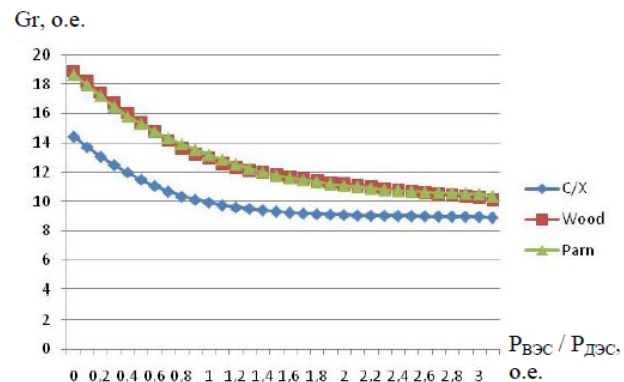


Рисунок 4 – Количество топлива, потребленного дизель-генератором за сутки в зависимости от соотношения установленных мощностей $P_{ВЭС} / P_{ДЭС}$ в АВДК класса 1

Из проведенного исследования следует вывод о существовании зависимости изменения коэффициента использования ветроустановки $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$ и коэффициента заполнения графика нагрузки K_3 – при изменении значения K_3 пропорционально меняется значение $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$. Увеличение соотношения установленных мощностей $P_{ВЭС} / P_{ДЭС}$ свыше $0,8 \div 1$ не дает заметной экономии топлива (4) и, следовательно, экономически нецелесообразно к применению. Тем не менее, $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$ остается на достаточно высоком уровне до соотношения $1,3 \div 1,5$ (рисунок 2). Более высоких результатов в экономии расхода топлива можно добиться, переводя

ДЭС в режим горячего резерва на минимальный холостой ход, либо совсем отключая её в периоды благоприятных ветровых условий.

Исследование энергоэффективности режимов работы АВДК в диапазоне интегральных значений скоростей ветра от 0,2 до $1,5 V_{ном}$ при неизменном соотношении мощностей $P_{ВЭС} / P_{ДЭС} = 1$ представлено на рисунок 5. Представленная зависимость справедлива для C/X графика электрической нагрузки (рисунок 1, а).

Из полученных графиков (рисунок 5) видно, что коэффициент использования ВЭС $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$ быстро снижается до 0,6 при интегральном значении скорости ветра $0,5 V_{ном}$ и далее плавно снижается до $K_{ИВЭС}^{ТЕХ} = 0,4$ при интегральном значении скорости ветра $1,5 V_{ном}$. Наибольшая экономия топлива также достигается при интегральном значении скорости ветра до $0,5 V_{ном}$. Следовательно, можно сделать вывод о наиболее эффективном режиме работы ветрогенератора именно в диапазоне до $0,5 V_{ном}$ и режиме с пониженной эффективностью в диапазоне до $0,9 V_{ном}$.

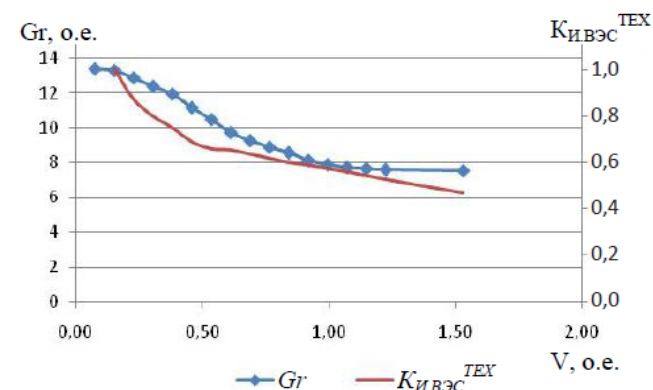


Рисунок 5 – Изменение $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$ и количества потребленного ДЭС топлива G_t за сутки в зависимости от ветровых условий V в АВДК класса 1

ВЫВОДЫ

Эффективность использования ВЭС $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$ быстро снижается до 60 % при изменении интегрального значения скорости ветра от 0 до $0,5 \cdot V_{ном}$ и далее плавно снижается до 40 % при увеличении интегрального значения скорости ветра до $1,5 \cdot V_{ном}$. Наибольшая экономия топлива достигается при интегральном значении скорости ветра до $0,5 \cdot V_{ном}$. Поэтому можно сделать вывод о наиболее эффективном режиме работы ветрогенератора именно

в диапазоне до $0,5 \cdot V_{ном}$ и умеренно эффективном режиме в диапазоне до $0,9 \cdot V_{ном}$.

Изменение графика нагрузки при сохранении неизменными коэффициента заполнения графика нагрузки K_3 и коэффициента неравномерности графика нагрузки K_n не оказывает существенного влияния в сравнении с другими критериями на эффективность работы автономного АВДК. Изменение значения коэффициента заполнения графика нагрузки K_3 приводит к пропорциональному изменению значения коэффициента использования ветроустановки $K_{ИВЭС}^{ТЕХ}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Данченко, А. М., Лукутин, Б. В., Обухов, С. Г. и др. Кадастр возможностей / под ред. Б. В. Лукутина. – Томск : Изд-во НТЛ, 2002. – 280 с.: ил.

2 Лукутин, Б. В., Мустафина, Р. М., Сурков, М. А. Исследование режимов работы автономного ветродизельного комплекса электроснабжения: Монография. – Павлодар : Кереку, 2012. – 169 с.

Материал поступил в редакцию 13.06.16.

Б. Лукутин¹, Р. Мустафина², Е. Сарсикеев³, М. Сурков¹

Автономды желдизельдік электрмен қамту кешендерінде жел және дизель-генераторларының қуаттары арасындағы оптималды қатынасты анықтау

¹Томбы саясы техникалық

Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ., Ресей;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан;

³С. Сейфуллин атындағы

агротехникалық университеті, Астана қ., Қазақстан.

Материал 13.06.16 баспаға түсті.

B. Lukutin¹, R. Mustafina², E. Sarsikayev³, M. Surkov¹

Optimal ratio determination of installed capacity of wind and diesel generators in an autonomous wind-diesel power supply complex

¹NR Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan;

³S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Astana, Kazakhstan.

Material received on 13.06.16.

Мақалада жел энергиясын максималды қолдану және дизельдік жанармайды минималды шығындау тұрғысынан, генерациялайтын қондырғылардың қуаттарына қойылатын қатынастарға байланысты жел қондырғыларының оптималды параметрлерін таңдау шарттары зерттелінеді және анықталады.

The research identifies the conditions for selecting the optimal parameters of wind turbines on the ratio of power generating installations, from the point of view of wind energy maximum efficiency and minimizing the consumption of diesel fuel.

УДК 621.397.743

**С. А. Мендыбаев¹, Н. Б. Байкенова², Л. И. Кривко³,
Г. М. Садвакасова⁴, Д. М. Рахимбердинова⁵**

¹к.т.н., профессор; ^{2,3,4,5}ст. преподаватели, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар
e-mail: ¹seke47@mail.ru; ²norbiba@mail.ru; ³krivromila@mail.ru;
⁴maxutkizi@mail.ru; ⁵di_lara83@mail.ru

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СТРУКТУР И ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В статье дан анализ основных структур и характеристик сетей телекоммуникаций. Рассмотрены основные виды преобразования цифровых данных и цифровой способ кодирования информации.

Ключевые слова: характеристики телекоммуникационных сетей, основные виды связей.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование телекоммуникационных сетей требует всестороннего и детального анализа всех сетевых процессов, в частности, процессов, связанных с маршрутизацией информационных потоков. Для этого, как правило, разрабатывается модель маршрутизатора, адекватная реальному устройству. Модель позволяет получить характеристики соответствующих сетевых процессов.

Таким образом анализ основных структур и характеристик телекоммуникационных сетей является важной и актуальной задачей.

Одним из путей решения поставленной задачи является разработка модели маршрутизатора.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Процесс разработки модели включает в себя несколько этапов. На первом этапе разработки модели проводится анализ основных структурных элементов маршрутизатора. Вся совокупность характеристик условно разделена на две группы: характеристики обслуживания (процессоров) и характеристики ожидания обслуживания или буфера. К основным характеристикам обслуживания относятся:

- вероятность отказа в обслуживании;
- относительная пропускная способность системы;
- абсолютная пропускная способность;
- коэффициент загрузки маршрутизатора;
- среднее число процессоров, занятых обслуживанием; среднее число процессоров, незанятых обслуживанием; коэффициент простоя маршрутизатора.

К характеристикам ожидания относятся:

- среднее число ячеек буфера, занятых пакетами, ожидающими обслуживания;
- среднее время ожидания обслуживания.

Основная функция телекоммуникационных систем (ТКС), или систем передачи данных (СПД), в условиях функционирования вещательных систем заключается в организации оперативного и надежного обмена информацией между абонентами, а также сокращении затрат на передачу данных.

Главным показателем эффективности систем телекоммуникаций является время доставки информации. Это время зависит от целого ряда следующих факторов:

- структуры сети связи;
- пропускной способности линий связи;
- способов соединения каналов связи между взаимодействующими абонентами;
- протоколов информационного обмена;
- методов доступа абонентов к передающей среде;
- методов маршрутизации пакетов.

Основными видами связей в телекоммуникационных системах являются: телефонные; телеграфные; телевизионные; спутниковые.

В качестве линий связи применяются: кабельные; волоконнооптические линии связи (ВОЛС); радиорелейные; радиолинии.

Среди кабельных линий связи наилучшими показателями обладают световоды, представляющие собой гибкие шланги с сердцевиной из органического или неорганического стекла. Основными преимуществами световодов являются: высокая пропускная способность (сотни мегабит в секунду), обусловленная использованием электромагнитных волн оптического диапазона; нечувствительность к внешним электромагнитным полям и отсутствие собственных электромагнитных излучений, низкая трудоемкость прокладки оптического кабеля; искро- взрыво- и пожаробезопасность; повышенная устойчивость к агрессивным средам; небольшая удельная масса; широкие области применения.

Недостатками ВОЛС являются: передача сигналов осуществляется только в одном направлении; подключение к световоду дополнительных ЭВМ значительно ослабляет сигнал; необходимые для световодов высокоскоростные модемы пока еще дороги; световоды, соединяющие ЭВМ, должны снабжаться преобразователями электрических сигналов в световые и обратно.

В телекоммуникационных системах нашли применение следующие типы каналов связи:

- симплексные, когда передатчик и приемник связываются одной линией связи, по которой информация передается только в одном направлении;
- полудуплексные, когда два узла связи соединены также одной линией, по которой информация передается попеременно то в одном направлении, то в противоположном;
- дуплексные, когда два узла связи соединены двумя линиями, по которым информация одновременно передается в противоположных направлениях. Дуплексные каналы применяются в системах с решающей и информационной обратной связью.

Коммутируемые и выделенные каналы связи

В ТКС различают выделенные (некоммутируемые) каналы связи и с коммутацией на время передачи информации по этим каналам. При использовании выделенных каналов связи приемопередающая аппаратура узлов связи постоянно соединена между собой. Этим обеспечиваются высокая степень готовности системы к передаче информации, более высокое качество связи, поддержка большого объема графика. Из-за сравнительно больших расходов на эксплуатацию сетей с выделенными каналами связи их рентабельность достигается только при условии достаточно полной загрузки каналов.

Для коммутируемых каналов связи, создаваемых только на время передачи фиксированного объема информации, характерны высокая гибкость и сравнительно небольшая стоимость (при малом объеме графика).

Недостатки таких каналов: потери времени на коммутацию (установление связи между абонентами), возможность блокировки из-за занятости отдельных участков линии связи, более низкое качество связи, большая стоимость при значительном объеме трафика.

Аналоговое и цифровое кодирование цифровых данных

Пересылка данных от одного узла ТКС к другому осуществляется последовательной передачей всех битов сообщения от источника к пункту назначения. Физически информационные биты передаются в виде аналоговых или цифровых электрических сигналов.

Аналоговыми называются сигналы, которые могут представлять бесчисленное количество значений некоторой величины, в пределах ограниченного диапазона. Цифровые (дискретные) сигналы могут иметь одно или конечный набор значений. При работе с аналоговыми сигналами для передачи закодированных данных используется аналоговый несущий сигнал синусоидальной формы, а при работе с цифровыми сигналами - двухуровневый дискретный сигнал. Аналоговые сигналы менее чувствительны к искажению, обусловленному затуханием в передающей среде, зато кодирование и декодирование данных проще осуществляются для цифровых сигналов.

Аналоговое кодирование применяется при передаче цифровых данных по телефонным (аналоговым) линиям связи, доминирующим в региональных и глобальных ТВС и изначально ориентированным на передачу акустических сигналов (речи). Перед передачей цифровые данные, поступающие обычно из ЭВМ, преобразуются в аналоговую форму с помощью модулятора-демодулятора (модема), обеспечивающего цифро-аналоговый интерфейс.

Возможны три способа преобразования цифровых данных в аналоговую форму или три метода модуляции:

– амплитудная модуляция, когда меняется только амплитуда несущей синусоидальных колебаний в соответствии с последовательностью передаваемых информационных битов: например, при передаче единицы амплитуда колебаний устанавливается большой, а при передаче нуля – малой или сигнал несущей вообще отсутствует;

– частотная модуляция, когда под действием модулирующих сигналов (передаваемых информационных битов) меняется только частота несущей синусоидальных колебаний: например, при передаче нуля – низкая;

– фазовая модуляция, когда в соответствии с последовательностью передаваемых информационных битов изменяется только фаза несущей синусоидальных колебаний. Передающий модем преобразует (модулирует) сигнал несущей синусоидальных колебаний (амплитуду, частоту или фазу) таким образом, чтобы он мог нести модулирующий сигнал, т.е. цифровые

данные от ЭВМ или терминала. Обратное преобразование (демодуляция) осуществляется принимающим модемом. В соответствии с реализуемым методом модуляции различают модемы с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией. Наибольшее распространение получили частотная и амплитудная модуляции.

Цифровое кодирование цифровых данных выполняется напрямую, путем изменения уровней сигналов, несущих информацию. Например, если в ЭВМ цифровые данные представляются сигналами уровней 5 В для кода 1 и 0,2 В для кода 0, то при передаче этих данных в линию связи уровни сигналов преобразуются соответственно в +12 В и – 12 В. Такое кодирование осуществляется, в частности, с помощью асинхронных последовательных адаптеров RS-232-C при передаче цифровых данных от одного компьютера к другому на небольшие (десятки и сотни метров) расстояния.

Синхронизация ТКС является частью протокола связи. В процессе синхронизации связи обеспечивается синхронная работа аппаратуры приемника и передатчика, при которой приемник осуществляет выборку поступающих информационных битов строго в моменты их прихода. Синхросигналы настраивают приемник на передаваемое сообщение еще до его прихода поддерживают синхронизацию приемника с входящими битами данных.

В зависимости от способов решения проблемы синхронизации различают синхронную передачу, асинхронную передачу и передачу с автоподстройкой. Синхронная передача отличается наличием дополнительной линии связи для передачи синхронизирующих импульсов стабильной частоты. Каждый синхроимпульс подстраивает приемник. Выдача битов данных в линию связи передатчиком и выборка информационных сигналов приемником производятся в моменты появления синхроимпульсов. В синхронной передаче синхронизация осуществляется весьма надежно, однако это достигается дорогой ценой – необходимостью дополнительной линии связи.

Асинхронная передача не требует дополнительной линии связи. Передача данных осуществляется небольшими блоками фиксированной длины (обычно байтами). Синхронизация приемника достигается тем, что перед каждым передаваемым байтом посылается дополнительный бит – стартбит, а после переданного байта – еще один дополнительный бит – стопбит. Для синхронизации используется стартбит. Такой способ синхронизации может использоваться только в системах с низкими скоростями передачи данных.

Передача с автоподстройкой, также не требующая дополнительной линии связи, применяется в современных высокоскоростных системах передачи данных. Синхронизация достигается за счет использования самосинхронизирующих кодов. Кодирование передаваемых данных с

помощью этих кодов заключается в том, чтобы обеспечить регулярные и частые изменения уровней сигнала в канале.

Каждый переход уровня сигнала от высокого к низкому или наоборот используется для подстройки приемника. Лучшими считаются такие синхрокоды, которые обеспечивают переход уровня сигнала не менее одного раза в течение интервала времени, необходимого на прием одного информационного бита. Чем чаще переходы уровня сигнала, тем надежнее осуществляется синхронизация приемника и увереннее производится идентификация принимаемых битов данных.

ВЫВОДЫ

Телекоммуникационная сеть в общем случае включает следующие основные компоненты:

– сеть доступа (access network), предназначена для концентрации информационных потоков, поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования пользователей, в сравнительно небольшом количестве узлов магистральной сети;

– магистраль (backbone или core network), которая объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транзит трафика между ними по высокоскоростным каналам;

– информационные центры или центры управления сервисами (data centers или services control point). Информационные центры представляют собой собственные информационные ресурсы сети, на основе которых осуществляется обслуживание пользователей.

В статье дан анализ основных структур и характеристик сетей телекоммуникаций. Рассмотрены основные виды преобразования цифровых данных и цифровой способ кодирования информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Буланов, А. В., Буланова, Т. А., Слепова, Г. Л. Основы проектирования электронных АТС: Учебное пособие. – М., 2008.

2 <http://www.systec.poltava.ua/rus/projects/biling.htm>.

3 <http://www.rans.ru/comites/ecommerce/ecommerce-150498.html>

4 Мур, М. и др. Телекоммуникации. – П., 2005.

5 Мардер, Н. С. Современные телекоммуникации. – М., 2006.

Материал поступил в редакцию 19.05.16.

С. А. Мендыбаев, Н. Б. Байкенова, Л. И. Кривко, Г. М. Садвакасова, Д. М. Рахимбердинова

Телекоммуникациялық желілердің негізгі құрылымы мен сипаттамасына талдау

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 19.05.16 баспаға түсті.

S. A. Mendybayev, N. B. Baikenova, L. I. Krivko, G. M. Sadvokasova, D. M. Rahimberdinova

Analysis of the main features and characteristics of telecommunications networks

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 13.06.16.

Мақалада телекоммуникациялық желілердің негізгі құрылымы мен сипаттамасына талдау берілген. Сандық деректер және мәліметтерді кодтаудың сандық тәсілінің негізгі түрлері қарастырылған.

In this article the analysis of the main features and characteristics of telecommunication networks is given. Basic types of digital data conversion and digital method of the information encoding are considered.

**С. А. Мендыбаев¹, Н. Б. Байкенова², Л. И. Кривко³,
Г. М. Садвакасова⁴, Д. М. Рахимбердинова⁵**

¹к.т.н., профессор; ^{2,3,4,5}ст. преподаватели, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар
e-mail: ¹seke47@mail.ru; ²norbiba@mail.ru; ³krivromila@mail.ru;
⁴maxutkizi@mail.ru; ⁵di_lara83@mail.ru

ИМПУЛЬСНО-КODOVЫЙ МОДУЛЯТОР СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

В статье рассмотрен импульсно-кодовый модулятор систем телекоммуникаций. Приведены основные параметры импульсно-кодового модулятора и его составные части.

Ключевые слова: параметры импульсно-кодового модулятора.

ВВЕДЕНИЕ

В телекоммуникационных системах широко используются высокочастотные колебания, так как электромагнитные волны низкой (звуковой) частоты почти не излучаются. Для осуществления связи высокочастотные сигналы модулируют электрическими колебаниями звуковой частоты. Этот процесс получил название модуляция. Без модуляции нет никакой передачи – ни телеграфной, ни телевизионной, ни телефонной.

В настоящее время в системах телекоммуникаций широко используются различные виды модуляции (амплитудно-импульсная, фазо-импульсная, частотно-импульсная, кодо-импульсная и др.) Поэтому разработка различных видов модуляторов, обеспечивающих качественную и надежную связь является важной и актуальной задачей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) используется для оцифровки аналоговых сигналов. Практически все виды аналоговых данных (видео, голос, музыка, данные телеметрии) допускают применение импульсно-кодовой модуляции. Аналоговый сигнал в импульсно-кодовой модуляции преобразуется в двоичные слова через равные промежутки времени-получение мгновенных отсчетов сигнала.

Мгновенное измеренное значение аналогового сигнала квантуется по уровню, число уровней квантования обычно равно или кратно целой

степени числа 2, например, $2^3 = 8$, $2^4 = 16$, $2^5 = 32$ и т. д. Номер уровня кодируется двоичными словами длиной 3, 4, 5 и т. д. бит. Выходные слова АЦП в параллельном коде передаются на регистр сдвига, тактируемый вспомогательным генератором сдвига. На выходе регистра сдвига формируются пакеты кодированных импульсов в последовательном коде, передаваемых в канал связи.

Частота отсчетов сигнала (или скорость оцифровки, частота дискретизации) для исключения потерь информации в соответствии с теоремой Котельникова должна быть не ниже 2-кратной максимальной частоты в спектре аналогового сигнала. Существуют специализированные интегральные микросхемы, совмещающие АЦП, регистр сдвига, тактовые генераторы и другие сервисные устройства.

Импульсно-кодовая модуляция позволяет организовать до тридцати каналов передачи информации, а при наличии соответствующего оборудования сопряжения и линейного тракта, аппаратура ИКМ может использоваться для систем передачи по оптическим кабелям. Помимо этого имеется возможность организации канала звукового вещания вместо четырех каналов, от одного до девяти каналов передачи дискретной информации со скоростью 8 кбит/с. Один канал передачи дискретной информации организуется в групповом тракте, остальные восемь – вместо одного из каналов. Каналы импульсно-кодовой модуляции можно загружать нетелефонной информацией любого вида без ограничения их числа и способа группировки.

Основные кабели на которых строится линейный тракт ИКМ представляет собой низкочастотные симметричные кабели с диаметром жил 0,5 мм и 0,7 мм. В случае необходимости система обеспечивает заданные параметры по высокочастотным кабелям с диаметром жил 1,2 мм. Линейный сигнал системы строится на основе сверхциклов, а также циклов канальных и тактовых интервалов.

Линейный тракт системы строится на основе необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП) и обслуживаемых регенерационных пунктов (ОРП). Длины регенерационных участков и секций дистанционного питания представлены в таблице 1.

Длины регенерационных участков на реальной линии передачи выбираются в процессе проектирования с целью обеспечения номинальной помехозащищенности регенераторов, причем затухание регенерационного участка на полутактовой частоте $f_T / 2 = 1024$ кГц не должно превышать 36 децибел.

Таблица 1 – Длины регенерационных участков

Тип кабеля	Длина регенерационного участка, км	Максимальное расстояние между ОРП (длина секции ДП), км	Максимальная длина переприемного участка, км
T = 0,5	0,35.....1,5	25	50
T = 0,6	0,52.....2,3	36	72
T = 0,7	0,59 ...2,6	41	82
ТПП = 0,5	0,472,0	28	56
ТПП = 0,7	0,62.....2,7	43	86

Электропитание оборудования оконечных станций и ОРП осуществляется от стационарной батареи напряжением 60 В, а дистанционное питание НРП осуществляется по искусственным цепям постоянным током 110 мА ± 10% по системе «провод-провод». Напряжение дистанционного питания в зависимости от числа НРП может меняться в пределах 16...48 В для коротких линий и 35.....245 В для длинных. Линейный тракт охвачен системой телевизионного контроля, позволяющей выявлять поврежденный регенерационный участок или регенератор. Система телесигнализации позволяет осуществлять сигнализацию о пропадании цикловой и сверхцикловой синхронизации на противоположной станции и о понижении избыточного воздушного давления в корпусе необслуживаемого регенерационного пункта.

В состав оконечного пункта входят: стойка аналого-цифрового оборудования типа САЦО и стойка оборудования линейного тракта СОЛТ. Обслуживаемые регенерационные пункты комплектуются стойками типа СОЛТ. Необслуживаемые регенерационные пункты устанавливаются в колодцах кабельной сигнализации телефонной станции большого типа и размещаются в специальных герметизированных контейнерах, в которых может располагаться оборудование необслуживаемых регенерационных пунктов для 12 систем.

Система комплектуется специализированной контрольно-измерительной аппаратуры. В состав этой аппаратуры входят: прибор контроля достоверности, пульт контроля регенераторов, измеритель затухания кабельной линии, измеритель шумов квантования и пульт контроля согласующих устройств.

Аналого-цифровое оборудование (АЦО) импульсно-кодовой модуляции предназначено для формирования 30-канального цифрового сигнала с временным разделением каналов со скоростью 2048 кбит/с и формирования

30 сигналов на приеме из первичного цифрового потока. Кроме указанных функций аналого-цифровое оборудование обеспечивает согласование низкочастотных окончатых каналов с линейным оборудованием коммутационных систем, организацию сигнальных каналов и передачу сигналов дискретной информации, а также звукового вещания в групповом цифровом потоке.

Электрическое питание стойки осуществляется от источника постоянного тока 60 В (с заземленным плюсом) по двум фидерам; цепи сигнализации рекомендуется питать от отдельного источника 60 В. Допустимые колебания напряжения питания находятся в пределах от 54 до 66 В. Псофометрическое напряжение пульсации источника не должно превышать 5x10⁻³ В. Расход тока составляет:

- в основных цепях при одной тридцатиканальной системе, установленной на стойке не более 2 А;
- в основных цепях при четырех тридцатиканальных системах, установленных на стойке не более 10 А;
- в цепях сигнализации не более 0,5 А.

Габаритные размеры стойки 2600x600x315 мм. Вес полностью укомплектованной стойки не более 335 кг.

Не допускается устанавливать стойки вплотную к стене или тыльными сторонами друг к другу. Расстояние между рядами стоек или тыльной стороной стойки и стеной помещения должно быть не менее 1 метра.

Стойка нормально работает при температуре окружающего воздуха от плюс 5 до плюс 40 °С и относительной влажности воздуха до 95 % при температуре до плюс 30 °С.

В каркасе стойки размещаются съемные каркасы, предназначенные для аналого-цифрового оборудования и панель обслуживания типа ПО-1, которая подключаются к стойке через специальные разъемы.

В верхней раме САЦО размещены три лампы стационарной сигнализации, пять клемм для подключения внешних источников питания и «земли». Две гребенки для подключения к стойке общестанционного табло, транспаранта и цепей служебной связи стойки СОЛТ, одна гребенка для подключения к стойке кодовых частот.

В средней части стойки расположена панель обслуживания ПО-1, над ней – одно АЦО. Под ПО-1 и под верхней рамой могут быть ещё дополнительно расположены три комплекта АЦО.

Панели коммутации вентиляторов крепятся с задней стороны стойки. Они предназначены для автоматического включения и выключения вентиляторов. Включение вентиляторов осуществляется при температуре

47-52 °С, а выключение при температуре от 40 °С до 46 °С. Параметры стька оборудования аналого-цифрового тракта характеризуется:

- амплитуда импульсов на выходе передающей части между АЦО и оконечным оборудованием линейного тракта $3 \pm 0,3$ В при нагрузке на активное сопротивление $120 \text{ Ом} \pm 2 \%$;
- длительность импульса $0,24 \pm 0,03$ мкс;
- время нарастания спада импульса (от 10 до 90 % уровня амплитуды) не более 0,08 мкс;
- амплитуда выбросов на вершине импульсов не более 0,3 В;
- тактовая частота линейного сигнала 2048000 ± 5 Гц;
- относительная нестабильность тактовой частоты линейного сигнала $\pm 3 \times 10^{-5}$;
- вид кода линейного сигнала – биполярный;
- входное сопротивление приемной части аналого-цифрового оборудования и входное сопротивление регенератора 120 Ом при коэффициенте отражения 0,1;
- затухание соединительного кабеля между аналого-цифрового оборудования и оконечным оборудованием линейного тракта на частоте 1024 кГц должно быть не более 6 дБ;
- приемная часть аналого-цифрового оборудования обеспечивает нормальную работу аппаратуры при изменении затухания соединительного кабеля между аналого-цифровым оборудованием и оборудованием линейного тракта на частоте 1024 кГц от 0 до 6 дБ.

ВЫВОДЫ

Под импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) понимается передача непрерывных функций при помощи двоичного кода. При кодовой модуляции необходимо передать числа, выражающие величину квантованных отсчетов. Для этого можно воспользоваться двоичным кодом. Числа, подлежащие передаче, записываются в двоичной системе счисления, что и даст необходимые кодовые комбинации.

Цифровая система передачи информации посредством импульсно-кодовой модуляции, предназначена для формирования абонентских и соединительных линий телефонных станций. Для получения на входе канала связи импульсно-кодового модулятора цифрового сигнала, мгновенное значение аналогового сигнала преобразуется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в двоичные слова через равные промежутки времени. Это обеспечивает получение мгновенных отсчетов сигнала.

В статье рассмотрен импульсно-кодовый модулятор (ИКМ) систем телекоммуникаций. Приведены основные параметры ИКМ и его составные части.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Буланов, А. В., Буланова, Т. А., Слепова, Г. Л. Основы проектирования электронных АТС: Учебное пособие. – М., 2008.
- 2 <http://www.systec.poltava.ua/rus/projects/biling.htm>
- 3 <http://www.rans.ru/comites/ecommerce/ecommerce-150498.html>
- 4 Мур, М. и др. Телекоммуникации. – П.; 2005.
- 5 Мардер, Н. С. Современные телекоммуникации. – М.; 2006.

Материал поступил в редакцию 19.05.16.

С. А. Мендыбаев, Н. Б. Байкенова, Л. И. Кривко, Г. М. Садвакасова, Д. М. Рахимбердинова

Телекоммуникациялық жүйенің импульсті-кодтық модуляторы

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 19.05.16 баспаға түсті.

S. A. Mendybayev, N. B. Baikenova, L. I. Krivko, G. M. Sadvokasova, D. M. Rahimberdinova

Pulse code modulator of telecommunications

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 13.06.16.

Бұл мақалада телекоммуникациялық жүйенің импульсті-кодтық модуляторы қарастырылған. Импульсті-кодтық модулятордың негізгі көрсеткіштері мен оның құрамдас бөліктері көрсетілген.

The article deals with the pulse code modulator of telecommunications. Basic parameters of the pulse code modulator and its components are shown.

А. В. Нефтисов¹, А. Д. Садуакасова²

¹докторант PhD, кафедра «Электроэнергетика»; ²магистрант, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЭЦ-3 ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В настоящей статье приводится анализ устройств автоматизации, которые введены в эксплуатацию. Приведены возможности ПТК котлоагрегатов и турбоагрегатов, а также отдельных устройств регистрации параметров, с помощью которых представляется возможным наладить автоматические сбор данных и расчеты технико-экономических показателей.

Ключевые слова: технико-экономические показатели, автоматизация, сбор данных, расчеты, базы данных.

ВВЕДЕНИЕ

АО «ПАВЛОДАРЭНЕРГО» – интегрированная холдинговая компания, которая осуществляет генерацию, транспортировку и сбыт электрической и тепловой энергии. Энергетическая компания АО «ПАВЛОДАРЭНЕРГО» включает в себя станции комбинированной выработки электро- и теплоэнергии (Павлодарские ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, Экибастузская теплоцентраль), Павлодарские электрические и тепловые сети, Экибастузские тепловые сети и предприятие по сбыту электро- и теплоэнергии ТОО «Павлодарэнергосбыт». АО «ПАВЛОДАРЭНЕРГО» занимает прочные позиции на рынке электроэнергетики Казахстана, поставляет произведенную электроэнергию в Карагандинскую, Акмолинскую, Восточно-Казахстанскую и Павлодарскую области и обеспечивает теплом города Павлодар, Экибастуз [1].

Рассматривая деятельность предприятия, прежде всего, нужно анализировать основные технико-экономические показатели (ТЭП), для того, чтобы знать реальную картину развития предприятия и его последующих перспектив.

На ТЭЦ-3 расчетом ТЭП-ов занимается отдел Производственно-технического управления (ПТУ). Все расчеты производятся персоналом

вручную. Т.е. каждый день собираются ведомости с данными о параметрах технологических процессов, выработках продукции. Далее ведомости вручную обрабатываются и проводятся расчеты. Расчетами занято пять специалистов.

Хотя на ТЭЦ-3, начиная с 2009 года, и проводится инвестиционная программа, которая включает поддержание существующего оборудования, за счет его реконструкции, и строительство нового оборудования, для увеличения установленной мощности генерирующих источников. Так в ходе инвест программы на данный момент введены в работу после реконструкций и модернизаций котлоагрегаты ст. № 1, 2, 3 и турбоагрегаты ст. № 1, 2, 4, 5. В ходе реконструкций и модернизаций на эти объекты были установлены программно-технические комплексы (ПТК) для управления котлоагрегатами и турбоагрегатами. Но до сих пор автоматизация не коснулась расчета технико-экономических показателей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим более подробно возможности эксплуатируемых устройств автоматизации на станции. На котлоагрегатах ст. № 1, 2, 3 и турбоагрегатах ст. № 1, 2 установлены ПТК фирмы «TREI-Караганда» которые построены на технической базе производителя контроллеров «TREI» и на программной части SCADA-системы iFix.

Система является автоматизированной (не автоматической), то есть предусматривает работу технических средств управления под контролем и при участии оперативного персонала. Центральной частью АСУ ТП является ПТК, кроме него в состав системы входят датчики, исполнительные механизмы, традиционные средства контроля, непрограммируемые и программируемые средства автоматизации, поставляемые комплектно с технологическим оборудованием.

В рамках системы наряду с традиционными задачами технологического управления решаются задачи, предназначенные для обеспечения персонала данными о технико-экономических показателях работы оборудования, анализом аварийных ситуаций и др.

Цели, которые были поставлены и достигнуты при создании системы:

1) Повышение надежности, улучшение технико-экономических, а также экологических показателей работы котлоагрегата за счет:

– реализации более сложных алгоритмов автоматического управления, точнее и полнее учитывающих специфику протекающих технологических процессов;

– приближения принимаемых машинистом котла управляющих решений к оптимальным. Благодаря лучшему информационному обеспечению

(представление данных в требуемом объеме, в удобном для восприятия виде и в любое необходимое время).

2) Создание лучших условий работы для оперативного персонала, облегчающих принятие решения по управлению и снижающих нагрузку машиниста котлоагрегата за счет:

- расширения функций автоматического управления и контроля;
- автоматизации анализа ситуации;
- улучшения комфортности работы персонала.

3) Повышение меры ответственности персонала за счет наличия в системе функций слежения и протоколирования действий персонала по управлению котлоагрегатом.

4) Повышение безаварийности функционирования системы, облегчение ее эксплуатационного обслуживания, сокращение времени на поиск, устранение возникающих нарушений в ее работе за счет:

- глубокой диагностики,
- необходимого резервирования и модульного построения;
- блокирования недостоверной информации и ошибочных действий персонала;
- реконфигурации схем при отказах программно-технических средств;
- возможности замены модулей без отключения контроллеров.

5) Выдача объективной информации, полученной в процессе ведения технологических режимов на котле, в обработанной и удобной для дальнейшего использования форме неоперативному инженерно-техническому и административному персоналу для решения производственных и организационно-экономических задач [2].

Так же основной задачей верхнего уровня ПТК «TREI» является формирование архива данных. К данному архиву можно с помощью инструментов Microsoft Query MS Excel, используя технологию ODBC, обращаться и получать данные. При обращении необходимо будет только указать требуемый период времени, дискретность и идентификационный код необходимых параметров. Далее данные будут сформированы в виде таблицы в MS Excel.

На турбоагрегатах ст. № 4, 5 установлены ПТК «OVATION» фирмой «КЭР-автоматика» г. Казань. Разработанная специально для электростанций система Ovation с самого начала была создана как средство достижения совершенства в эксплуатации, как средство для создания устойчивого конкурентного преимущества. Разработанные за последние четыре десятка лет и проверенные в реальных условиях технологии организации управления АСУ ТП Ovation обеспечивают более точное и предсказуемое управление, а множество программ упреждающего управления и

оптимизации технологических процессов позволяют улучшить работу за счет автоматического регулирования процессов, обеспечивающей оптимальные результаты [3]. В поставку с ПТК OVATION входит менеджер отчетов Cristal Reports. Данный инструмент позволяет формировать отчеты с любыми параметрами удобными для обработки в MS Excel.

После формирования отчетов, как на ПТК «TREI», так и на ПТК OVATION, можно данные из этих отчетов с помощью SQL запросов забирать в единую базу данных.

На остальных объектах (котлоагрегаты ст. № 4, 5, 6 и турбоагрегаты ст. № 3, 6), которые до сих пор не модернизировались, для регистрации параметров применяются приборы REGIGRAF Ф1771, которые постепенно вытеснили ранее установленные бумажные регистраторы. Данные приборы применяются в системах контроля и управления технологическими процессами для измерения и регистрации параметров, управления и передачи данных измерений на верхние уровни систем управления. Для передачи данных в приборе имеются интерфейсные разъемы RS-232, RS-485[4]. Благодаря поддержке цифровых интерфейсов автоматический сбор данных с этих приборов может быть настроен. Тем более что в поставке с прибором идет программное обеспечение позволяющее настраивать передачу и сбор данных в базе данных MS Access. Остается только проложить линии связи к приборам. Так как приборы распределены на достаточно большой площади, то подключение приборов к одному серверу для сбора данных осуществимо только по RS-485 интерфейсу.

ВЫВОДЫ

После анализа имеющегося технического и программного обеспечения предприятия было определено, что на данном этапе разработка и внедрение информационно-расчетного программного комплекса для автоматического расчета ТЭП-ов на Павлодарской ТЭЦ-3 являются оптимальными. Реализация данного проекта даст следующие положительные эффекты: будут снижены трудозатраты при расчете и учете ТЭП, минимизирован «ручной» ввод значений с одновременным обеспечением требуемой точности и объема расчетов ТЭП; будут автоматизированы сбор и хранение первичных данных из различных источников; будет обеспечен доступ для ИТР к данным с достаточной степенью детализации и наглядности для проведения анализа; будет обеспечена возможность конструирования различных отчетных форм вывода информации путем пользовательской комбинации набора параметров из базы данных и её передачи потребителям различных уровней; будет повышена эффективность работы станций за счет создания и внедрения единой автоматизированной информационной Системы

(программно-технического комплекса) планирования режимов работы электростанции, позволит рассчитывать оптимальные режимы загрузки оборудования станции; будут минимизированы влияния человеческого фактора на результаты расчета, в том числе за счет автоматизации процессов сбора данных из измерительных систем, архивирования журнала аудита изменений моделей расчета и входных параметров, защиты журнала аудита от изменений/удаления пользователями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Компания «Павлодарэнерго». Информация для акционеров и инвесторов. – URL: <http://www.pavlodarenergo.kz/ru/o-kompanii/akzioneram-i-investoram.html>

2 Компания TREI Караганда. Проектирование и поставка ПТК АСУТП котлоагрегата №3 ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго». – URL: <http://trei-karaganda.kz/index.php?newsid=81>

3 Приборостроительный завод «Вибратор». Описание многоканального электронного регистратора с сенсорным управлением. – URL: <http://www.regigraf.com>

4 Emerson Process Management. Самая надежная система управления в мире – Ovation. – URL: <http://www2.emersonprocess.com/ru-ru/brands/ovation/products/Pages/index.aspx>

Материал поступил в редакцию 25.04.16.

А. В. Нефтисов, А. Д. Садуакасова

Техникалық-экономикалық көрсеткіштердің автоматтандырылған есептеу жүйесін жүзеге асыру үшін ЖЭО-3-тің техникалық және бағдарламалық қамтылуын талдау

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 25.04.16 баспаға түсті.

A. V. Neftissov, A. D. Saduakassova

Technical and software analysis of Heat Power Plant-3 for implementation of the automatic system for technical and economic index estimation

S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 25.04.16.

Осы мақалада автоматтандырудың қолданыстағы құрылғыларына талдау келтірілген. Бу қазандарының және турбоагрегаттардың бағдарламалық-техникалық кешенінің мүмкіндіктері, сондай-ақ көрсеткіштерді тіркейтін басқа құрылғыларының мүмкіндіктері келтірілген. Олардың жәрдемімен деректерді автоматты түрде жинау және техникалық-экономикалық көрсеткіштердің есептеулерін жүргізу мүмкін.

In this paper the operated automation devices analysis is provided. The features of the software and technical complex of the boiler units and turbo-units are specified, as well as other parameter registration devices. These devices provide automatic data acquisition and technical indices estimation.

УДК 621.184

**А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько², А. К. Кинжибекова³,
А. Е. Карманов⁴**

¹д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика»; ²к.т.н., профессор кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар; ³к.т.н., директор департамента энергетика, металлургии и информационных технологий, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар; ⁴докторант, Алматинский университет энергетика и связи, г. Алматы

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА КОТЛАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В статье проводится анализ способов использования топливных брикетов из возобновляемых ресурсов.

Ключевые слова: энергоэффективность, котельные агрегаты, тепловые потери, режимы

ВВЕДЕНИЕ

Анализ современного состояния инженерной инфраструктуры объектов малой энергетики (автономных котельных установок) показал, что большая часть котельного оборудования устарела и требует комплексной модернизации основных фондов, КПД которых колеблется в пределах

до 60 %, а у некоторых среднестатистический коэффициент полезного использования энергии составляет не более 40 %, то есть около 40-60 % тепловой энергии, генерируемой в котельных, теряется с уходящими газами, в тепловых сетях, через ограждающие конструкции общественных и жилых зданий. Особенно это наблюдается в котлах малой теплопроизводительности, работающих на самотяге, где эффективность может быть еще ниже.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами статьи была проведена работа по исследованию работы котлов малой и средней мощности, обобщая результаты которой можно привести следующие рекомендации по повышению энергоэффективности на этих котлах.

Обмуровка котлов. Котельные агрегаты, используемые в котельных Павлодарской области, согласно паспортам предприятий-изготовителей имеют КПД от 70 до 75 %. Но в условиях эксплуатации реальные КПД далеки от паспортных.

Так, тепловые потери в окружающую среду, превышают нормативные. На исследованных нами котлах максимум тепловых потерь составил величину в 3 раза превышающую нормативную. Объяснение этого кроется в просчётах при конструировании, неудовлетворительное состояние обмуровки при эксплуатации (наблюдается нарушение не только теплоизоляционных свойств обмуровки, но и нарушение герметичности котла, что влияет на потери теплоты теплопроводностью и с уходящими газами) использовании материалов, не подходящих для использования в нерасчётных условиях.

Для снижения тепловых потерь котлами малой и средней мощности предлагаются следующие мероприятия:

1) Контроль за выполнением требований технической эксплуатации по температуре на поверхности теплоизоляции котельных агрегатов на стадии конструирования.

2) Использование в качестве теплоизоляции современных энергосберегающих материалов. Часто производители котлов (и эксплуатирующий персонал при замене изоляции) не задумываются об эффективности теплоизоляции и используют недорогие материалы исходя из ценовых соображений. При этом, проведённый нами анализ показывает, что при использовании теплоизоляции с меньшим коэффициентом теплопроводности возможно снижение затрат за счёт уменьшения объёма теплоизоляции.

Рекомендуемую тепловую изоляцию разделим на группы по критерию – максимальная температура применения.

При максимальной температуре поверхности не более 500 °С рекомендуется применение различных видов минеральной ваты с коэффициентом теплопроводности не более 0,04 Вт/(м·К). Также в этом температурном диапазоне можно рекомендовать использование «жидкой» теплоизоляции – жидко-керамического покрытия, которое наносится как краска. Данный материал, по характеристикам производителя, имеет коэффициент теплопроводности не более 0,003 Вт/(м·К).

При максимальной температуре поверхности до 900 °С рекомендуется использование теплоизоляции из базальтовых волокон – базальтового супертонкого волокна (БТСВ) с коэффициентом теплопроводности 0,036 Вт/(м·К).

Для теплоизоляции поверхностей с температурой не более 1100 °С рекомендуется применение материалов из волокна муллитокремнезёмистого состава. Температура длительного применения 1150 °С, коэффициент теплопроводности 0,13-0,15 Вт/(м·К).

3) Контроль за изготовлением и состоянием обмуровки при эксплуатации. Технология изготовления обмуровки (особенно слоёв из волокнистых материалов) должна чётко соблюдаться. Коэффициенты теплопроводности, используемые в расчётах, приведены для материалов не подверженных сжатию. Между тем, при выполнении изоляции часто наблюдается сжатие теплоизоляционных материалов, что переводит тепловую работу изоляции в нерасчётные режимы и увеличивает тепловые потери.

При невозможности выполнения тепловой изоляции без сжатия предлагается использование коэффициентов теплопроводности, подкорректированных с учётом степени сжатия. Данные работы были проведены в рамках данной научной работы и результаты представлены в отчётах.

Проведённые нами обследования показали, что на многих котлах имеется неудовлетворительное состояние обмуровки – трещины, сколы и др. Эти моменты, влияющие на экономичность работы котлов, могут быть легко обнаружены (визуальный контроль) и устранены. В принципе от персонала достаточно лишь соблюдение правил техники эксплуатации, а от руководства – чёткого контроля.

4) Разработка рациональных (с позиции возникающих термических напряжений) графиков сушки обмуровок после капремонтов и разогрева котлов. Эти работы приведут к повышению стойкости огнеупорного слоя обмуровки, снижению тепловых потерь и повышению надёжности работы котлоагрегата в целом. Такие работы для котла БКЗ-75 были нами проведены: разработаны рациональные графики сушки и разогрева обмуровки (два варианта): возникающие термические напряжения при этом снизились на

30 и 40,5 %, а тепловые потери в процессе разогрева котла – на 20 и 28,2 % соответственно.

5) Контроль процессов сушки и разогрева обмуровок котлов. Для производства обмуровочных работ применяются различные материалы, в зависимости от уровня температуры в конкретной части котельного агрегата. Наиболее часто используемыми являются диатомовый и шамотный кирпичи, а также базальтовые и совелитовые плиты [1].

Измерение температуры по сечению обмуровки котельных агрегатов в настоящее время остаётся важной проблемой для эксплуатационного персонала. Для энергетических котлов тепловые процессы в обмуровке играют наиболее важную роль при переменных режимах работы этих агрегатов: пуски, остановки и резкое изменение нагрузки. При таких режимах возможно возникновение ситуации, когда скорость изменения температур в обмуровке будет превышать допустимые значения, что повлечёт за собой возникновение температурных напряжений, значения которых выше предела прочности используемых материалов. Это приведёт к образованию микротрещин в материале, и к уменьшению рабочей кампании котла в целом.

Итогом всех этих нарушений целостности обмуровок будет являться, в первую очередь, снижение технико-экономических показателей работы котла, и, в общем, общее снижение надёжности работы агрегатов.

Для контроля нестационарных режимов котельных агрегатов нами был разработан и запатентован ряд методов. При этом каждый метод имеет свои положительные стороны для применения в конкретных условиях. Так, «Способ определения теплового состояния обмуровки теплового агрегата» [2] позволяет с достаточно высокой точностью (погрешность не более 5 %) вести контроль режима разогрева высокотемпературного агрегата. При этом в качестве необходимого оборудования будет требоваться: два или три (минимально, в зависимости от условий применения) датчика температуры, вторичный прибор с возможностью передачи информации на компьютер и сам компьютер с программным обеспечением. Ну и конечно, возможность подключения компьютера к системе регулирования нагрева агрегата. Применение данного способа можно рекомендовать достаточно крупным предприятиям, при наличии инженеров КИПиА, а также инженеров-наладчиков.

Другой способ увеличивает точность расчётов и точность получения данных [3]. При этом, также необходим квалифицированный персонал и программном обеспечении.

Для котлов малой и средней мощности, установленных на котельных и предприятиях без квалифицированного персонала в области автоматике и

программного обеспечения нами предлагается простой и надёжный способ, не требующий значительных затрат [4].

Топливо. Котельные агрегаты изготавливаются заводами-изготовителями на определенное проектное топливо и имеют, как правило, достаточно высокий коэффициент полезного действия. Но в условиях эксплуатации, например в Павлодарской области, можно говорить об использовании целого ряда топлив: каменных углей – Экибастузского, Сарыкольского, месторождения Каражыра и бурого – Майкубенского угля, то есть при использовании одного из них все остальные угли являются непроектными и КПД котельного агрегата при работе с ними будет ниже. Здесь стоит отметить и эксплуатационные режимы, которые тоже разработаны для работы котельного агрегата на конкретном виде угля: начиная с технологической карты горения до периода очистки газоходов от золовых частиц др.

При эксплуатации котлов на расчётном топливе в процессе горения образуется шлак, который в жидком виде движется вниз и накапливается на колосниковой решётке. По мере подхода шлака к решётке он охлаждается воздухом, затвердевает и создаёт защитный теплоизоляционный слой, препятствующий пережогу колосников. Использование нерасчётного топлива при соблюдении тех же температурных режимов способствует зашлаковке нижней части слоя на колосниковой решётке, что приводит к снижению подачи воздуха на горение и возможному недожогу, возникающему вследствие обволакивания кусков топлива шлаком и удалении их из зоны горения без доступа воздуха.

Анализ показывает, что при работе котельных на разных видах топлива наименьший КПД имеет котёл при сжигании Экибастузского угля, наибольший – при сжигании Карагандинского. Достаточно высокий КПД имеет котёл при сжигании Майкубенского угля. Экибастузский уголь относится к углям, где минеральная и органическая части практически неотделимы. Поэтому Экибастузский уголь сжигать в слое нецелесообразно, так как механический недожог при сжигании его в слое достигает 25-30 %, что приводит к низким значениям КПД котлоагрегатов.

Ухудшению качества топлива способствует также хранение угля на открытых складах. После хранения угля с возможностью доступа атмосферных осадков без системы сушки топлива приводит к сжиганию топлива с неконтролируемой влажностью. Влага, превращаясь при горении в пар, отнимает часть теплоты сгоревшего топлива, ещё более снижая эффективность тепловой работы котлов. Ситуация усугубляется тем, что при поставках угля типа «рядовой» может быть значительное количество фракций менее 20 мм, неподходящей для сжигания на колосниковой решётке. Для сжигания такой фракции персонал котельной смачивает уголь, получая

кашеобразное состояние, которое не проваливается (просыпается) через колосники. И в топочной камере образуются дымовые газы, насыщенные водяными парами. Эта ситуация приводит к низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей нагрева, даже при высокой температуре уходящих газов. Так, коррозия конвективной части котлов КВ-0,4 наблюдалась при температуре уходящих газов около 300 °С.

Решением этой проблемы может явиться изготовление угольных брикетов для слоевого сжигания.

В результате проведённых нами исследований можно сделать заключение о пригодности всех видов углей для производства брикетов. В зависимости от нужд и требований можно варьировать состав брикета, а так же его размер. А при необходимости, как показала практическая часть исследования, можно регулировать и плотность брикета, делая его в случае необходимости более «рыхлым».

Вода. Обязательное использование водоподготовки для котлов. На части котлов, исследованных нами, система подготовки воды отсутствовала, а вода для подпитки котлов бралась из систем водоснабжения населённых пунктов или из скважины. Таким образом, полное отсутствие системы удаления солей жёсткости из подпиточной воды, а порой и использование воды, насыщенной солями приводит к возникновению значительных отложений на внутренней поверхности нагрева, что приводит к ухудшению теплоотдачи в котле, увеличению расхода топлива и снижению КПД котлов в целом.

Обследование котельных показало, что на части оборудования проектировалась и первоначально устанавливалась схема подготовки воды (как правило, фильтры с сульфоглём). Это достаточно простые схемы, которые позволяют использовать для регенерации поваренную соль. Но обследования показывают, что даже такие фильтры не функционируют при реальной работе малых котельных. Среди причин этого можно выделить – отсутствие достаточной квалификации эксплуатационного персонала и затраты на покупку, доставку регенерационного раствора.

Рекомендуется использовать в качестве водоподготовительных установок аппараты, практически не требующие обслуживания. Современные установки для магнитной обработки (ГМС), (например, магнитные преобразователи воды «Энерготепломаш»); или работающие на электромагнитах аппараты магнитной обработки воды (АМО), или устройства для умягчения воды, использующие принцип обработки воды не электромагнитным полем, а на основе электромагнитных импульсов переменной частоты, что позволяет устройствам не только предотвращать накипеобразование, но и убирать уже имеющиеся отложения. В этом отношении можно порекомендовать продукцию фирмы Hydromath под

торговой маркой HydroFLOW. Это устройств потребляет незначительное количество энергии, не нуждается в обслуживании при эксплуатации и неплохо зарекомендовало себя в теплоэнергетике.

ВЫВОДЫ

Кроме того, необходимо отметить такую важную часть процесса горения – подачу воздуха для горения топлива. Как правило, котлы даже малой и средней мощности имеют дутьевые вентиляторы (а порой и дымососы). Работа дутьевых вентиляторов определяется лишь субъективным взглядом эксплуатационного персонала, основанном на опыте их работы. Если учесть, что котлы не постоянно работают на номинальных параметрах, то можно утверждать, что подача воздуха для процесса горения далека от оптимальной. К этому стоит добавить, что организации изготавливающие котельные агрегаты не дают рекомендаций по выбору дымовых труб, что приводит либо к недостатку, либо к избытку воздуха.

В этом случае возможно применение газоанализатора. Достаточно двухкомпонентного анализа дымовых газов (СО₂ и О₂) чтобы судить и о полноте сгорания и о количестве кислорода. При этом, конечно, необходима соответствующая квалификация персонала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Кинжибекова, А. К., Жумагулов, М. Г., Карманов, А. Е. Анализ работы водогрейных котлов малой и средней мощности Павлодарской области. – Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилёва. – 2014. – № 4. – С. 60-65.

2 «Способ определения теплового состояния обмуровки теплового агрегата» (Инновационный патент № 26932 Республика Казахстан, МКИ G 01 K 13/00, опубли. 15.05.2013, бюл. № 5. – 3 с. : ил.)

3 Способ определения теплового состояния обмуровки высокотемпературного агрегата. Инновационный патент № 30372 Республика Казахстан, МКИ G01K 13/00 опубли. 15.09.2015, бюл. № 9. – 3 с.

4 Способ определения теплового состояния футеровки высокотемпературного агрегата. Инновационный патент № 29868 Республика Казахстан, МКИ G 01 K 13/00 опубли. 15.05.2015, бюл. № 5. – 3с.

Материал поступил в редакцию 10.05.16.

Төмен қуатты қазандарда энергия тиімділікті жоғарылату тәсілдері¹С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

²Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар қ.;³Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

Материал 10.05.16 баспаға түсті.

A. S. Nikiforov¹, E. V. Prihodko¹, A. K. Kinzhibekova², A. E. Karmanov³**Methods of improving energy efficiency in low-power boilers**¹S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;²Innovative University of Eurasia, Pavlodar;³Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty.

Material received on 10.05.16.

Мақалада жаңартылатын ресурстардан отындық брикеттерді пайдалану тәсілдерінің сараптамасы келтірілген.

The article analyzes the ways to use fuel briquettes from renewable resources.

УДК 621.184

**А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько², А. К. Кинжибекова³,
О. О. Григорьев⁴**

¹д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика»; ²к.т.н., профессор, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар; ³к.т.н., директор, департамент энергетика, металлургии и информационных технологий, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар; ⁴магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар

**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА
С КИПЯЩИМ СЛОЕМ ПРИ РАБОТЕ
НА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТАХ**

В статье приводятся результаты физического моделирования аэродинамических процессов в топочной камере с кипящим слоем.

Ключевые слова: топливные брикеты, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных преимуществ использования топок кипящего слоя при сжигании угля связано с возможностью организации устойчивого горения при температуре кипящего слоя, находящегося в пределах от 750 до 950 °С, и при условии однородности по классу крупности твердого топлива, подаваемого в кипящий слой. При данном уровне температур предотвращает образование топливных оксидов азота в сравнении с факельным сжиганием. Котлы с топками кипящего слоя обладают уникальной «всеядностью» к топливам, отличными показателями по выбросам оксидов серы и азота, высоким коэффициентом полезного действия и особенно перспективны при переходе на сжигание высокозольных переувлажненных углей, а также древесных и других горючих отходов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Если рассматривать сжигание твёрдого топлива в котлах с кипящим слоем небольшой производительности (как правило, водогрейных), то можно сделать вывод о том, что наименее затратным и наиболее простым способом будет являться сжигание биомассы.

Технологии сжигания твердого биотоплива в виде древесных отходов можно разделить на сжигание сухого биотоплива (влажностью до 30 %) и сжигание влажного биотоплива (влажностью до 50-65 %).

Можно выделить основные преимущества сжигания биотоплива в кипящем слое. Во-первых, он позволяет повышать эффективность сжигания низкокачественных или нетрадиционных видов топлива при незначительных затратах на топливоподготовку. Второе преимущество – экологичность, в частности, количество выбросов токсичных оксидов серы в атмосферу может быть снижена больше чем на 90 %. Третье преимущество – высокая эффективность сжигания и теплообмена.

Теория кипящего слоя начала разрабатываться достаточно давно, но при этом и сегодня существует множество вопросов, связанных с оптимизацией конструкций таких топков, а также оптимизацией режимов их работы. Однако в настоящее время теоретическая база для решения этих проблем явно слаба. Этому есть множество причин. Так, созданные теории, достаточно точно описывают поведение материала при псевдоожигении с гладкими, сухими и одинакового размера шарами. При реальных условиях – наличии частиц неправильной формы, переменной плотности по объёму, теории дают значительную погрешность. Таким образом, одним из решений проблем моделирования кипящего слоя является создание физических моделей.

Для исследования аэродинамики топочной камеры при работе на топливных брикетах с кипящим слоем авторами была изготовлена физическая модель топочной камеры котла.

В качестве котельного агрегата для физического моделирования топки с кипящим слоем был выбран водогрейный котёл с форсированным низкотемпературным кипящим слоем [1].

Автор [2] приводит значения скоростей начала псевдоожигения и параметры воздухораспределительных решёток при исследовании кипящего слоя на физической модели (таблица 1 и 2).

Таблица 1 – Параметры воздухораспределительных решёток

Решётка	Диаметр отверстий, мм	Число отверстий, шт	Живое сечение решётки	
			м ²	%
1	2,5	722	0,0035	18,2
2	4,5	324	0,0052	26,4

Таблица 2 – Аэродинамические сопротивления воздухораспределительных решёток

Метод полученных данных	Аэродинамическое сопротивление, ΔР, Па	
	d _{отв} = 2,5 мм	d _{отв} = 4,5 мм
Расчёт	1005	455
Эксперимент	220	70

Таким образом, используя данные лабораторных исследований, размеры физической модели реального котла можно определить все технические характеристики разрабатываемой модели. При этом используем следующие формулы.

Расход воздуха на горение, V_В:

$$V_B = V^o \cdot \alpha_t \cdot B \cdot (1 - q_4),$$

где V^o – теоретически необходимое количество воздуха, м³/кг;

α_t – коэффициент избытка воздуха в топке;

B – расход топлива, кг/с;

q₄ – механический недожог, %.

Диаметр выходных колпачков воздухораспределительной решетки:

$$d_{оме} = \sqrt{\frac{V_B}{W_B \cdot n \cdot \pi}},$$

где W_В – скорость воздуха, м/с;

n – количество колпачков.

С учётом имеющихся чертежей котла решено было изготавливать модель в масштабе 1:14. Таким образом, физическая модель топочной камеры должна быть квадратной, со стороной 200 мм. Диаметр отверстия принимаем равным 5 мм, живое сечение решётки 0,007 м² (17,5 %). Скорость воздуха можно изменять от 3 до 10 м/с.

Процессы, связанные с гидродинамикой «кипящего» слоя при использовании его на котлах малой и средней производительности, можно рассматривать как случайные и анализировать их с помощью вероятностных методов. Для эффективного анализа работы этих агрегатов необходимо выявить взаимосвязи между факторами, определяющими ход процесса и выходом данного процесса, а также представить их в количественной форме – в виде математической модели:

$$l = l(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где l – высота «кипящего» слоя в топочной камере;

x_1, x_2, \dots, x_n – факторы, оказывающие влияние на ход этого процесса.

Необходимо получить не только вид данной зависимости, опираясь на данные эксперимента, но и оценить влияние каждого фактора на величину высоты слоя.

Для определения основных факторов, влияющих на высоту «кипящего» слоя были проведены замеры на физической модели топочной камеры котельного агрегата.

В физической модели использовались следующие материалы:

– пластик, плотностью 345 кг/м³, правильной цилиндрической формы (h=5 мм; Ø=5 мм);

– пластик, плотностью 345 кг/м³, правильной цилиндрической формы (h=8 мм; Ø=7,5 мм);

– пластик, плотностью 550 кг/м³, правильной цилиндрической формы (h=5 мм; Ø=5 мм);

– силикагель, плотностью 7077 кг/м³, шарообразной неправильной формы (эквивалентный диаметр Ø_{экв}=5 мм);

– силикагель, плотностью 7077 кг/м³, шарообразной неправильной формы (эквивалентный диаметр Ø_{экв}=8 мм)

Исходя из анализа оценки влияния различных факторов на высоту «кипящего» слоя при сжигании топлива, в качестве факторов эксперимента выбираем:

x_1 – размер частиц, м;

x_2 – плотность частиц, кг/м³;

x_3 – скорость воздуха в модели топочной камеры, м/с;

x_4 – высота покоящегося слоя, м.

Из физических соображений можно предположить, что взаимосвязь различных факторов на высоту «кипящего» слоя при сжигании топлива имеет следующий вид:

$$y(b, x) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \sum_{l=k+1}^n b_{ikl} x_i x_k x_l + \dots + b_{12\dots n} x_1 x_2 \dots x_n,$$

где b_0 – свободный член, равный выходу при $x=0$;

b_i – коэффициент регрессии, указывающий на влияние фактора на процесс;

b_{ij} – коэффициенты регрессии, определяющие степень воздействия на процесс взаимодействия факторов.

Определив коэффициенты регрессии этого уравнения, получим представление о влиянии изучаемых факторов на величину тепловых потерь. Расчет коэффициентов регрессии ведется по следующим формулам:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{q}_j x_i^j, i = 0, \dots, n$$

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{q}_j x_i^j \dots x_\mu^j, i, \mu = 1, 2, \dots, n.$$

где \bar{q}_j – значение среднего выхода процесса в j -ом варианте;

x_i^j – значение фактора в j -ом варианте.

Необходимое число экспериментов для нашего исследования составляет величину: $N=2^n$, где n – количество исследуемых факторов. Для получения оценок коэффициентов данной модели в принципе можно использовать полные факторные планы. Однако, как правило, модель включает не все, а лишь некоторые взаимодействия первого порядка (парные взаимодействия), редко взаимодействия второго порядка и почти никогда не содержит взаимодействий выше третьего порядка.

Для упрощения задачи будем рассматривать только линейную модель процесса без учета парных взаимодействий. Постановка задачи формулируется следующим образом: требуется экспериментальным путем найти интерполяционную формулу, с помощью которой можно было бы описать зависимость высоты «кипящего» слоя от перечисленных факторов:

$$y(b, x) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4.$$

В каждой экспериментальной точке поставим по два эксперимента. Для расчета оценок коэффициентов будем использовать среднее арифметическое

этих наблюдений для каждой точки $\tilde{y}^i = \frac{\tilde{y}^{i1} + \tilde{y}^{i2}}{2}$. Далее, базируясь на данные экспериментов, рассчитываем оценки коэффициентов, получаем вид интерполяционной формулы.

Как было уже сказано выше, количество основных факторов, влияющих на величину высоты «кипящего» слоя, равно 4. Поэтому количество взаимодействий $N=2^n=2^4=16$. Таким же будет минимальное количество необходимых опытов. Так как наша цель состоит в том, чтобы, пользуясь по возможности малым числом опытов, извлечь необходимую информацию об исследуемом объекте, оказывается целесообразным для построения модели применить дробный факторный план.

Дробные планы типа 2^{n-p} строятся так же, как и для линейных моделей, т.е. матрицу полного факторного плана для (n-p) основных факторов дополняют столбцами, элементы которых представляют произведения элементов определённых столбцов основных факторов. Обычно предполагается, что только некоторые парные взаимодействия и взаимодействия высших порядков являются значимыми. При этом значимые взаимодействия рассматриваются как самостоятельные факторы, а незначимые приравниваются к факторам, не вошедшим в число основных. Для определения способа образования каждого из p столбцов дробного факторного плана вводится понятие генератора плана. Генератор представляет собой произведение основных факторов, определяющее значение элементов каждого из дополнительных p столбцов матрицы плана.

Опираясь на порядок оценивания коэффициентов при использовании данного плана, можно, составив план эксперимента, получить матрицу планирования эксперимента (Таблица 3).

Таблица 3 – Матрица планирования эксперимента

№	Планирование					Выход процесса
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	Высота слоя, м
1	+	+	+	+	+	0,085
2	+	-	+	+	-	0,030
3	+	+	-	+	-	0,065
4	+	-	-	+	+	0,160
5	+	+	+	-	+	0,060
6	+	-	+	-	-	0,015
7	+	+	-	-	-	0,012
8	+	-	-	-	+	0,050

Таким образом интерполяционная формула будет иметь следующий вид:

$$\hat{y} = 0,06 - 0,004x_1 - 0,012x_2 + 0,025x_3 + 0,029x_4.$$

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ полученной зависимости показывает, что наибольшее влияние на величину высоты «кипящего» слоя, оказывает фактор x_4 (высота покоящегося слоя) и в меньшей степени, но практически с одинаковым влиянием – скорость воздуха в модели топочной камеры; менее значительное влияние - плотности частиц и их размера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Сидоров, А. М., Скрябин, А. А., Медведев, А. И., Щербаков, Ф. В. Опыт внедрения котлов малой мощности с топками форсированного низкотемпературного кипящего слоя // Новости теплоснабжения. – № 1. – 2009. – С. 57-66.

2 Семенов, С. А. Модельные исследования гидродинамики аппаратов с кипящим слоем // Системы. Методы. Технологии. – № 2. – 2009. – С. 82-86.

Материал поступил в редакцию 10.05.16.

А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько¹, А. К. Кинжибекова², О. О. Григорьев¹

Отындық брикеттерде жұмыс істеу кезінде қайнап тұратын қабатымен қазанды физикалық модельдеу

¹С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

²Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар қ.

Материал 10.05.16 баспаға түсті.

A. S. Nikiforov, E. V. Prikhodko, A. K. Kinzhibekova, O. O. Grigoryev

Physical modeling of fluidized bed boilers at work on fuel briquettes

¹S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

²Innovative University of Eurasia, Pavlodar.

Material received on 10.05.16.

Мақалада қайнап тұратын қабатпен оттық камерадағы аэродинамикалық процестердің физикалық модельдеуінің нәтижелері келтіріледі.

The article presents the results of physical modeling of aerodynamic processes in the combustion chamber with a fluidized bed.

Д. Ф. Парамонов¹, С. Р. Масакбаева², Ф. П. Парамонов³

¹ведущий эксперт, Павлодарская научно-производственная лаборатория МЮ РК, г. Павлодар; ²к.хим.н., доцент; ³к.хим.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар
e-mail: ³paramonov_fr@mail.ru

ОЦЕНКА ПРИЕМА РАЗБАВЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА (СООБЩЕНИЕ 1)

В работе рассматривается задача подбора разбавителя анализируемой пробы на какой-то определенный элемент, если анализ проводится методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Проблема заключается в том, что между интенсивностью линии определяемого элемента $I_1(\lambda_1)$ и его содержание в образце – C_i соотношение нелинейное, причем, если строить графики зависимости этой величины от содержания, получим кривые различных знаков радиусов кривизны: относительно прямой 0-100 %: кривые могут быть расположены или выше ее (наполнитель «легкий») или ниже ее (наполнитель «тяжелый»). Так как характер наполнителя пробы неизвестен, то это исключает возможность по одному измерению интенсивности установить концентрацию определяемого элемента. Соответственно возникает задача разработать прием, позволяющий по измеренной интенсивности определить концентрацию C_i .

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, интенсивность линии K- серии определяемого атома, массовый коэффициент поглощения, выход флуоресценции, скачок поглощения энергетической серии, угол входа, угол выхода, разбавитель, гомогенный.

ВВЕДЕНИЕ

При анализе многокомпонентных проб методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) возникают проблемы однозначной идентификации интенсивности аналитической линии определяемого элемента I_{2i} с его содержанием в исследуемой пробе – C_i .

Зависимость I_{2i} от C_i при РФА нелинейная [1]

$$I_{2i} = R \frac{C_i}{\mu'(\lambda) + \mu''(\lambda_{II})} \quad (1)$$

Здесь R – постоянная параметров элемента и приборов; $\mu'(\lambda), \mu''(\lambda_{II})$ – соответственно массовые коэффициенты поглощения по первичному (λ) и вторичному (λ_{II}) излучению. Штрихи при МКП – означают деление их на синусы углов входа (φ) и выхода (ψ) первичного и вторичного излучений. В дальнейшем сумму МКП будем обозначать через A с соответствующим индексом.

МКП являются аддитивными величинами сумм МКП отдельных составляющих пробы, взятых с учетом их весовой доли в этом образце, т.е. они тоже зависят от концентраций в пробе.

В практике РФА получили широкое распространение прием сравнения сигнала от исследуемой пробы с сигналом от образца сравнения, так называемый метод внешнего стандарта. При правильно выбранном стандарте анализ по методу РФА чрезвычайно экспрессивен. Это позволяет данный метод использовать для руководства технологическим процессом, например, в гидрометаллургии при получении глинозема из бокситов, при производстве цемента и т.п., но это для случая, когда состав анализируемой пробы практически совпадает с составом стандарта. Для всех остальных случаев необходимо учитывать различие в составах, например, используя методику Н. Ф. Лосева [2]. Если I_{2x} равно $I_{2ст}$, то легко показать, что

$$C_x = C_{ст} \frac{\mu_x}{\mu_{ст}}, \quad (2)$$

Здесь C_x – искомая концентрация; $C_{ст}$ – концентрация этого элемента в стандарте; $\mu_x, \mu_{ст}$ – соответственно МКП вторичного излучения в образце и стандарте. Часто используют разбавление пробы веществом строго определенного состава. Тогда, разбавляя пробу в m раз, мы считаем, что при этой степени пропадает различие между наполнителем разбавленной пробы и наполнителем стандарта.

Рассчитав концентрационную зависимость интенсивности линии определяемого элемента на образцах определяемый элемент – наполнитель и, сравнивая I_{2x} (m разбавление) со стандартами, можно определить C_x как произведение $m \cdot C_{ст}$, где $C_{ст}$ – величина концентрации анализируемого элемента, интенсивность линии, которого равна интенсивности линии от m – раз разбавленного образца. Но оказывается, что остаток пробы в разбавленном образце оказывает активное влияние на конечный результат, и это влияние тем существеннее, чем больше различия МКП пробы и стандартов. Поэтому

выбор степени разбавления становится затруднительным. С одной стороны при $m \rightarrow \infty$ влияние остатка пробы стремится к нулю, но с другой стороны определяемая концентрация также стремится к нулю, и прибор, доведенный до своей «чувствительности», перестает давать достоверную информацию. Разбавление требует: 1) высоких степеней для того, чтобы A_x/m была пренебрежимо малой по отношению к A_p ; 2) при выполнении условия

1) приходится часто приближать величину $\frac{C_x}{m}$ к чувствительности прибора, что резко уменьшает экспрессность анализа или повышает интервал доверительности результата анализа. Так как эти условия в достаточной мере антагонистичны, то необходимо идти на компромисс: либо экспрессность, либо точность.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

От этих условий можно избавиться достаточно просто, если в качестве разбавителя выбрать вещество с известными МКП как первичного, так и флуоресцентного излучений, т.е. с известным A .

Можно уйти от проблемы учета влияния состава наполнителя на интенсивность аналитической линии, если воспользоваться методом фундаментальных параметров [3, 4, 5], но тогда возникает другая проблема: измерение всех интенсивностей от всех элементов пробы, что не всегда возможно, так как это требует эксплуатацию всеволнового прибора.

Задача данного сообщения показать возможности данного приема анализа в зависимости от степени разбавления и режимов работы рентгеноспектральной аппаратуры.

В качестве пробы взята смесь MnO_2 , $CaCl_2$, MgO с содержанием – $Mn - 10,00\%$, $Ca - 15,199\%$, $Mg - 25,35\%$, $Cl_2 - 26,8886\%$, $O_2 - 22,5323\%$.

Анализируемый элемент – марганец, у которого $\lambda_k - 1,896 \text{ \AA}$, $K_{\infty 1} M_n - 2,102 \text{ \AA}$. При возбуждении пробы характеристическим первичным излучением - $I(\lambda_1)$ получаем флуоресценцию $I_x(\lambda_2)$.

$$I_x(\lambda_2) = R \frac{C_x I(\lambda_1)}{\mu_x(\lambda_1) + \mu_x(\lambda_2)} = R C_x \frac{I(\lambda_1)}{A_x} \quad (5)$$

Если проба разбавлена в m раз, и от нее исходит вторичное излучение $I_{xp}(\lambda_2)$, то это излучение интенсивности равно

$$I_{xp}(\lambda_2) = R \frac{C_x}{m} \cdot \frac{I(\lambda_1)}{A_{xp}} \quad (6)$$

A_{xp} и A_x в силу их аддитивности связаны соотношением

$$A_{xp} = \frac{A_x}{m} + \frac{A_p(m-1)}{m}$$

И тогда взяв отношение $\left[\frac{I_x(\lambda_2)}{I_{xp}(\lambda_2)} \right] = \beta$, получаем [6]:

$$C_x = I_x(\lambda_2) \cdot A_p \frac{m-1}{\beta-1} \quad (7)$$

Данное соотношение интересно тем, что оно не включает в себя МКП пробы. Все величины входящие в уравнение (7) определяются через интенсивности $I_x(\lambda_2)$ и $I_{xp}(\lambda_2)$. Отдельно стоит вопрос об определении A_p , но, во – первых, это раз и навсегда определяемая величина, если анализ проводится на определенный элемент, например, при определении содержания марганца по существу во всех реально существующих веществах и, если в качестве разбавителя выбирается определенное вещество, например, глинозем – Al_2O_3 . Тогда $A(Al_2O_3)$ будет являть из себя сумму вида

$$A_p = 15,168\lambda_1^{2.79} + 15,168 \cdot 2,102^{2.79} = 15,168\lambda_1^{2.79} + 120,524$$

Если известна длина волны первичного рентгеновского излучения λ_1 , то $A_p(Al_2O_3)$ легко доводится до численного значения, например при $\lambda_1 = 1,79 \text{ \AA}$.

$$A_p(Al_2O_3) = 197,506$$

Отметим, что при определении концентраций нескольких элементов в исследуемом образце можно использовать один разбавитель, но с условием, что $\mu_p(\lambda_i)$ должен определяться для каждой аналитической линии каждого из определяемых элементов.

Если определяется один элемент, то рекомендуем брать в качестве разбавителя вещество с преимущественным содержанием элемента, у которого K – край поглощения лежит между K -краем поглощения анализируемого элемента и его аналитической линией. Такое не всегда возможно или по причине дефицитности такого элемента или же из-за невозможности найти такой элемент, у которого бы выполнялось бы вышеуказанное волновое условие.

Возьмем в качестве неизвестного образца пробу с ранее описанным составом – смесь MnO_2 , $CaCl_2$, MgO . В качестве разбавителя возьмем Cr_2O_3 , у него K – край $\lambda_k Cr = 2,070 \text{ \AA}$, что лежит между $\lambda_k Mn = 1,896 \text{ \AA}$ и его K_{∞} – линией – $2,02 \text{ \AA}$.

В качестве монохроматического возбуждителя флуоресценции марганца нужно выбирать такой, у которого длина волны как можно ближе расположена к K – краю марганца. Так как эффективность возбуждения пропорциональна отношению $\lambda_{\text{над}} / \lambda_{\text{фл}} \cdot \gamma$. Поэтому выбираем характеристическое излучение кобальта – $K_{\infty 1,2} = 1,789 \text{ \AA}$. Для упрощения расчетов будем считать, что длина волны генерирующего излучения равна $1,79 \text{ \AA}$.

Для расчета МКП нужны характеристики элементов пробы, которые берутся из приложений I и II [6]: если представить, что $\text{МКП}_i = B_i \cdot \lambda^{n_i}$, то у кислорода $B=3,198$; $n=2,92$. Соответственно, у магния – $12,191$; $2,79$; у хлора – $31,55$; $2,79$; у кальция – $51,05$; $2,66$; марганца – $88,525$; $2,66$; хрома – $80,034$; $2,66$.

Для флуоресценции K_{α_1} марганца, то есть для расчета МКП ($K_{\alpha_1} \text{ Mn}$) нужно взять для кислорода $B=3,198$; $n=2,92$; магния – $12,191$; $2,79$; хлора – $31,55$; $2,79$; кальция – $51,05$; $2,66$; марганца – $10,86$; $2,70$; хрома – $9,647$; $2,70$.

С учетом этого $A_x = \mu_x(\lambda_1) + \mu_x(K_{\alpha_1} \text{ Mn}) = 304,457$, а A_p для Cr_2O_3 равна $321,078$.

Интенсивность K_{∞} – линии марганца от неразбавленной пробы – I_{2x} равна (в условных единицах) $3,2845 \cdot 10^{-3}$.

От разбавленной пробы интенсивность $K_{\alpha_1} \text{ Mn}$ определяется по формуле

$$I_{2xp} = \frac{C_x}{A_x + A_p(m - 1)}$$

Далее проводим расчет по (5). Результаты расчетов представлены таблицей 1.

Таблица 1 – Сопоставление расчетных данных при использовании приема разбавления пробы веществом с известным МКП

Число разбавлений	2	5	10	20
A_{xp}	312,957	317,75	319,42	320,25
β	2,056	5,218	10,49	21,04
$C_{\text{расч.}} \%$	9,99	10,00	10,00	10,00

Таким образом, теоретические предпосылки для реализации приема разбавления пробы веществом с известной суммой МКП вполне обоснованы, тем более что при использовании данного приема отпадает необходимость в создании эталонного хозяйства.

Выбранный разбавитель для определения концентрации марганца оптимален, так как он достаточно быстро снимает влияние элементов

наполнителя пробы и в то же время слабо поглощает K_{α_1} марганца, то есть не снижает контрастность сигнала. Однако использовать его как универсальный для данной пробы нельзя. Если исходить из требования безэталонности, то необходимо теоретически учесть дополнительное возбуждение характеристического излучения хрома на кальций и магний, входящих в состав пробы, что невозможно сделать простым образом из-за незнания концентраций кальция и магния. Строить концентрационные кривые состава $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{CaCl}_2$ и $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ значит прийти к приему анализа простого внешнего стандарта со всеми его минусами (учитывать каким либо образом влияние остатка наполнителя на интенсивность разбавленной пробы).

Поэтому в качестве разбавителя нужно использовать вещество, которое своим характеристическим излучением (а оно обязательно возникает под действием генерирующего излучения) не вызывает «подвозбуждения» у определяемых элементов пробы.

Возьмем уже обследованную пробу, выделим для анализа два элемента – марганец и кальций, а в качестве разбавителя используем глинозем – Al_2O_3 .

Длина волны первичного монохроматического излучения равна $1,79 \text{ \AA}$, регистрируются линии анализируемых элементов $K_{\alpha_1} \text{ Mn}$ – $2,102 \text{ \AA}$, $K_{\alpha_1} \text{ Ca}$ – $3,359 \text{ \AA}$.

По ранее описанной методике определяем МКП для вышеуказанных длин волн и им соответствующие A_{Al} . Определяем исходные позиции для расчета интенсивности K_{∞} – линии Mn.

$A_x(\text{Mn}) = 303,144$; $I_{2x}(\text{Mn}) = 3,29876 \cdot 10^{-4}$; $C_x(\text{Mn}) = 10,00\%$; $A_p(\lambda = 2,102 \text{ \AA}) = 125,345$.

Число разбавлений	2	5	10	20
β	1,40718	2,6424	4,7009	8,8196
$C_{\text{расч.}} \%$	10,11	10,03	10,012	10,003

Таким образом теоретические предпосылки не исключают возможности использования приема анализа разбавителя с известной суммой МКП первичного и вторичного излучений по крайней мере при определении концентрации элемента не подверженного «подвозбуждению».

В подтверждении этого приведем расчет и сравним результаты расчета с экспериментальными данными имеющими место быть в работе [7] – случай вторичной эмиссии для системы $\text{ZnO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Исследуется эмиссия Zn по его K_{α_1} – линии. Идея использования результатов этого эксперимента состоит в следующем J. Sherman приводит и расчет и эксперимент для интенсивности

K_{α_1} – линии цинка, концентрация которого меняется от 0,05 до 0,95 весовых долей и приводит сопоставление расчетных и экспериментальных данных (таблица 2).

Таблица 2 – Составление интенсивностей рассчитанных различным образом для флуоресценции цинка

C_{Zn}	0,05	0,1	0,15	0,20	0,50	0,80	0,85	0,90	0,95
$I_{K_{\alpha_1} Zn \text{ теор.}}$	0,029	0,059	0,091	0,124	0,362	0,695	0,764	0,837	0,916
$I_{K_{\alpha_1} Zn \text{ экспер.}}$	0,033	0,066	0,100	0,136	0,377	0,685	0,744	0,825	0,906

Эти результаты можно трактовать следующим образом: проба с содержанием Zn 0,95 может быть исходной для пробы с содержанием цинка 0,9, если ее разбавить оксидом железа в 1,0556 раз, для пробы с содержанием цинка 0,85, если ее разбавить оксидом железа в 1,11765 раз, для пробы с содержанием цинка 0,8 – в 1,1875 и т.д., до содержания цинка в 0,05, если исходную пробу разбавить в 19 раз.

Таким образом в качестве разбавителя будет выступать оксид железа с

$$A_p = \mu_{Fe_2O_3}(1,2\text{Å}) + \mu_{Fe_2O_3}(1,435) = 181,144$$

Если мы в качестве определяемой концентрации берем 0,95, по формуле для расчета будет выглядеть следующим образом

$$0,95 = I_2(0,95) \cdot 181,144 \frac{m-1}{\beta-1}$$

Отметим сразу, что по всей концентрационной кривой величина $I_2(0,45) A(Fe_2O_3)$ остается постоянной величиной, и так как определяемая концентрация $C_x = 0,95$ остается постоянной, то должно и оставаться постоянным отношение

$$\frac{m_k-1}{\beta_k-1} = \text{const} \quad (8)$$

Так как мы провели все концентрации на данный прием анализа, то должны получить целую матрицу этих констант. Следует обратить внимание на характер отклонения расчетных и экспериментальных данных в самом первоисточнике: от 0,05 до 0,5 теоретические значения меньше экспериментальных, после 0,5 – характер соотношений меняется на противоположный. Это же подтверждается в нашем случае по формуле (6). Полученные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Проверка постоянства (8) для пробы работы [6].

Текущая концентрация / определяемая	0,05	0,10	0,15	0,20	0,50	0,80	0,85	0,90	0,95
0,95	0,922	0,945	0,951	0,952	0,922	0,812	0,754	0,790	-
0,90	0,90	0,921	0,913	0,915	0,839	0,810	0,715	-	-
0,80	0,813	0,80	0,7956	0,7993	0,7987	-	-	-	-
0,50	-	0,50	0,4968	0,4996	-	-	-	-	-
0,20	-	0,20	0,19	-	-	-	-	-	-
0,15	0,148	0,15	-	-	-	-	-	-	-
0,10	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-

Из таблицы видно, что в целом прием работает достаточно надежно, особенно в области разбавлений от 2 до ~ 20. Относительно содержаний 0,90; 0,50; 0,20; разумных объяснений пока не имеется. Имеющиеся отклонения нуждаются в дополнительной проверке, особенно для области больших концентраций.

ВЫВОДЫ

При знании МКП разбавителя можно проводить анализ безэталонным методом, при этом выбор разбавителя ничем не ограничен (кроме явления «подвозбуждения».)

Выбор разбавителя необходимо проверить если в пробе наблюдается «подвозбуждение».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Парамонов, Ф. П.** Флуоресцентный анализ – Павлодар : Кереку, 2011. – 60 с.
- 2 **Лосев, Ф. Ф., Смагунова, А. Н.** Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. – Москва : Химия, 1982. – 207 с.
- 3 **Парамонов, Ф. П.** Определение концентрации элементов способом подбора теоретического стандарта // Изв.АНКазССР. Сер. Физика. – 1966. – № 3. – С. 97-98.
- 4 **Criss, I. W, Birks, L. S.** Calculation methods for fluorescent X – Ray spectrometry // Analytical Chemistry. – 1968. – V. 40. – № 7 – P. 1080-1090.
- 4 **К. Tsuji et [al.].** X-ray spectrometry // Analytical Chemistry. – 2010. – V. 82. – № 12 – P. 4950 - 4987
- 6 **Афонин, В. П., Гуничева, Т. Н., Пискунова, Л. Ф.** Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ – Новосибирск: Наука, 1984. – 225 с.

7 **Sherman, J.** Simplification of a formula in the correlation of fluorescent X-ray intensities from mixtures // Spectrochimica Acta. – 1959. – V. 15. – P. 466-47.

Материал поступил в редакцию 31.05.16.

Д. Ф. Парамонов¹, С. Р. Масақбаева², Ф. П. Парамонов²

Талдаудың рентгенфлуоресцентті әдісін қолдануда сұйылту тәсілін бағалау

¹ҚР ӘМ Павлодар ғылыми-техникалық зертхана, Павлодар қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 31.05.16 баспаға түсті.

D. F. Paramonov¹, S. R. Massakbayeva², F. P. Paramonov²

Evaluation of the dilution method using X-ray fluorescence analysis

¹Pavlodar scientific-production laboratory

Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 31.05.16.

Жұмыста рентгенфлуоресцентті спектроскопия әдісімен талдауды орындағанда сынаманың сұйылтқышының таңдау мәселесі қарастырылады. Элементті анықтайтынсызығының интенсивтілігі $I_1(\lambda_1)$ мен оның үлгідегі мөлшері арасындағы сәйкестік бейсызықты және егер осы шаманың мөлшерге тәуелділігін көрсететін графикті салсақ, қисық радиустары әртүрлі болатын қисықтар аламыз: 0-100% тура сызыққа қатынасты бұл қисықтар үстінде (толтырғыш «жеңіл») немесе астында (толтырғыш «ауыр») орналасуы мүмкін. Сынаманың толтырғышының табиғаты белгісіз болғандықтан, интенсивтілікті бір рет өлшеу арқылы анықталатын элементтің концентрациясы білу мүмкін емес. Сондықтан, C_i концентрацияны анықтауға мүмкіндік беретін интенсивтілікті өлшеуге әдістемені табу мәселесі пайда болады.

This work considers the problem of selection of the analyzed sample dilutant to a certain element, when the analysis is carried out by X-ray fluorescence spectroscopy.

The problem is that the correspondence between the line intensity of the analysis element $I_1(\lambda_1)$ and its content in the sample C_i is nonlinear and when making a magnitude-content plot, we obtain the curves of different

values of curvature radii: relation to the straight line 0-100%: these curves may be located above («light» filler) or below («heavy» filler) it. Since the nature of the sample filler is unknown, it is not possible to determine the concentration of the analyte based only on intensity measurement. Accordingly, there is a task to develop a technique that allows to determine the concentration C_i by the measured intensity

УДК 543.427

Д. Ф. Парамонов¹, С. Р. Масақбаева², Ф. П. Парамонов³

¹ведущий эксперт, Павлодарская научно-производственная лаборатория МЮ РК, г. Павлодар; ²к.хим.н., доцент; ³к.хим.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар
e-mail: ³paramonov_fp@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗБАВИТЕЛЯ С ИЗВЕСТНЫМИ МАССОВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОМ АНАЛИЗЕ (СООБЩЕНИЕ 2)

В работе показана применимость приема анализа разбавления пробы с известной суммой массовых коэффициентов поглощения первичного и вторичного излучений для случая возбуждения флуоресценции участком тормозного спектра анода.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, массовый коэффициент поглощения, флуоресценция, эмиссия, монохроматизм, концентрация, генерирование, ангстрем, гомогенность, интеграл

ВВЕДЕНИЕ

В [1] было показано, что при исследовании сложных проб можно проводить анализ используя прием разбавления пробы веществом, у которого известны массовые коэффициенты поглощения (МКП) как первичного возбуждающего (монохроматического) излучения, так и вторичной (аналитической) эмиссии. Концентрация определяемого элемента – C_i находится по формуле (1)

$$C_i = A_p \cdot I_{2i} \frac{m - 1}{\beta - 1}, \quad (1)$$

где $A_p = \mu'(\lambda_1) + \mu''(\lambda_i)$ – сумма МКП вещества - разбавителя первичного (λ_1) излучения и вторичного (λ_i) эмиссии. Штрихи означают, что МКП поделены на синусы углов входа и выхода соответствующих излучений;

I_{2i} – интенсивность вторичного излучения от неразбавленной пробы;

m – степень разбавления;

β отношение I_{2i} к интенсивности от разбавленной пробы $-I_{2ip}$

Формула (1) снимает многие вопросы, главным из которых был учет влияния остатка исходного наполнителя пробы на I_{2ip} . Учет происходит автоматически через величину β .

Так как во многих случаях рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в качестве генерирующего излучения используется участок тормозного спектра анода, способный возбудить вторичную эмиссию определяемого элемента, то вполне естественно использовать (1) пусть и в каком – то трансформируемом виде для этого случая анализа. Совершенно очевидно, что должна видоизмениться величина A_p , так как в нее входит величина $\mu(\lambda_1)$, I_{2i} и I_{2ip} . Аналитический вид этих характеристик следующий

$$\mu(\lambda_1) = \sum B_i C_i \lambda_1^{n_i} \quad (2)$$

$$I_{2i} = RC_i \int_{\lambda_0}^{\lambda_w} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{\sum B_k C_k \lambda_1^{n_k} + \sum B_k^* C_k \lambda_i^{n_k^*}} \quad (3)$$

I_{2ip} имеет вид (3), но с учетом появления в пробе вещества разбавителя. В (3) суммирование проводится по всем элементам, входящим в состав пробы, B_k, B_k^*, n_k^*, n_k – характеристики элементов пробы, связанные с МКП элемента, приведены в приложении I и II [2], C_k – концентрации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проверка пригодности формулы (1) для анализа сложных проб в случае иницирования вторичной эмиссии полихроматическим рентгеновским излучением была произведена на образце состава $MnO_2 + CaCl_2 + MgO$ в котором было 10% Mn , 15,199% Ca , 25,35% Mg , 26,8886% Cl_2 , 22,5323% O_2 . Анодное напряжение варьировалось от 9 кВ до 50 кВ, анализировался марганец, K – край которого равен 1,896 Å, $K_{\alpha_1} Mn - 2,102 \text{ Å}$, $\sin \varphi = \sin \psi = 0,7071$; образец бесконечно – толстый, плоскопараллельный, гомогенный, излучения коллимированные.

В качестве веществ – разбавителей были использованы мелкодисперсная сера, глинозем – Al_2O_3 , карбонат кальция – $CaCO_3$. Степени разбавления были 2, 5, 10, 20.

Отметим сразу, что механические повторения механизма описания анализа по формуле (1) мало, так как все величины, входящие в эту формулу (за исключением m – степени разбавления), зависят как от концентраций, так и от длины волны генерирующего излучения. В формуле (1), когда она использовалась при монохроматическом излучении, если зависят только от содержания элементов.

Если заменим в (3) интеграл его средним, то оно будет зависеть от λ_0 и от концентраций C_i . Определение величины интеграла в (3) ведется по формуле Симпсона, точность представления ~ 10-4 %. Одновременно находится средняя длина волны, по которой может определяться $\mu(\lambda_1)$. Конкретно избранный образец характеризуется МКП генерирующего излучения

$$\mu(\lambda_1) = 16,60678\lambda^{2,66} + 11,57788\lambda^{2,79} + 0,72051\lambda^{2,92},$$

МКП флуоресценции – $\mu(\lambda_i = 2,102 \text{ Å}) = 162,3167 \text{ см}^2/\text{г}$.
Выражение, подлежащее интегрированию

$$\int_{\lambda_0}^{1,896} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{16,60678\lambda^{2,66} + 11,57788\lambda^{2,79} + 0,72051\lambda^{2,92} + 162,3167}$$

Оно будучи умноженное на $C_i = 0,1$, дает интенсивность вторичного излучения K_{α_1} марганца от исследуемого образца

$$\lambda_0 = 0,8668; 0,6422; 0,4958; 0,2479 \text{ Å}.$$

$$m = 2, 5, 10, 20$$

Величина A_p – серы определяется из интеграла (также по методу Симпсона)

$$\int_{\lambda_0}^{1,896} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{26,737\lambda^{2,79} + 212,4506} = \frac{1}{A_p} \quad (4)$$

Результаты расчетов представлены таблицей 1.

Таблица 1 – Расчетные интенсивности и другие характеристики, используемые в приеме разбавления

$\lambda_0, \text{Å}$ Начало тормозного спектра	0,8668	0,6422	0,4958	0,2479
I_{2i} (исходная) 10^3	0,31174	0,45536	0,55949	0,74939
I_{2i} (m = 2)	0,14318	0,20834	0,25425	0,34106
I_{2i} (m = 5)	0,045408	0,080392	0,098392	0,131066
I_{2i} (m = 10)	0,026897	0,039041	0,047794	0,063685
I_{2i} (m = 20)	0,013344	0,0193635	0,023701	0,0315745
A_p (S)	377,63	260,32	212,69	159,70
$I_{2i} A_p$	117,757	118,539	118,998	119,678
$[(m - 1) : (\beta - 1)] = \gamma$	0,84943	0,84342	0,83295	0,83526
Искомая концентрация, $C_x = 0,1$	0,10003	0,09998	0,099119	0,099962

Примерно также результаты по всем остальным изменяемым параметрам – λ_0, m .

Другим разбавителем был взят глинозем Al_2O_3 . Его A_p определялся из интеграла

$$\int_{\lambda_0}^{1,896} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0)d\lambda}{8,0275\lambda^{2,79} + 1,50549\lambda^{2,92} + 75,7562} = \frac{1}{A_p}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные расчетов исходного образца и разбавителя Al_2O_3

$\lambda_0, \text{Å}$	0,8668	0,6422	0,4958	0,2479
A_p (Al_2O_3)	134,8478	92,6940	75,6057	56,5957
I_{2i} (m = 2)	0,21934	0,31976	0,39243	0,52476
I_{2i} (m = 5)	0,11612	0,16892	0,20705	0,27637
I_{2i} (m = 10)	0,06508	0,09457	0,11585	0,15450
I_{2i} (m = 20)	0,03464	0,05030	0,06159	0,08210

Величина $\gamma = \frac{m-1}{\beta-1}$ меняется от 2,3752 до 2,3376, то есть с некоторым уменьшением, но произведение $A_p I_{2i}$ с некоторым нарастанием от 0,04199 до 0,04241. Искомая концентрация определена в пределах от 0,09914 до 0,09973.

Третьим веществом – разбавителем был карбонат кальция – $CaCO_3$. Его основная характеристика – A_p определялась также по формуле (4)

$$\frac{1}{A_p} = \int_{\lambda_0}^{\lambda_w} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0)d\lambda}{20,42845\lambda^{2,66} + 1,69227\lambda^{2,92} + 162,1901}$$

Для этого разбавителя составим укороченный вариант аналога таблицы 1, сохранив ранее принятые обозначения. Данные занесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов концентрации марганца при разбавлении пробы $CaCO_3$

$\lambda_0, \text{Å}$	0,8668	0,6422	0,4958	0,2479
A_p	290,81	200,48	163,81	122,98
I_{2i} (исходная) 10^3	0,034020,31174	0,45536	0,55949	0,74939
I_{2i} (m = 2)	0,163145	0,237485	0,291225	0,38900
I_{2i} (m = 5)	0,06732	0,09779	0,11978	0,15973
I_{2i} (m = 10)	0,03402	0,04938	0,06046	0,08058
I_{2i} (m = 20)	0,01710	0,024815	0,03038	0,04047
C_x (2*)	0,09954	0,09951	0,09950	0,09947
C_x (5*)	0,009963	0,09987	0,09987	0,09986
C_x (10*)	0,009970	0,09994	0,09994	0,09993
C_x (20*)	0,009972	0,09997	0,09999	0,09996

Таким образом расчеты показывают возможность использования в качестве приема анализа разбавление пробы веществом у которого сумма МКП заранее известна, а само по себе определение неизвестной концентрации не требует каких-либо эталонных образцов, отдельного измерения МКП и т.д. Степень разбавления выбирается таковой, чтобы интенсивности значимо различались между собой, но при этом значительно превышали порог чувствительность прибора.

Если в выражении (1) заменить β его значением, то после небольших преобразований получаем соотношение (5)

$$C_x = A_p(m - 1) \cdot I_{2i} \frac{I_{2ip}}{I_{2i} - I_{2ip}} \quad (5)$$

Данное соотношение проверялось (расчетным путем) на применимость для образца (10% *Mn*, 15,199% *Ca* и т.д.) при различных λ_0 и m и соответственно различных A_p . В качестве разбавителя бралась сера. Напряжения на аноде рентгеновской трубки менялись от 14,3 кВ до 50 кВ. Соответственно A_p менялось от 377,63 до 159,70 у.е. Проводился расчет по определению исходной концентрации марганца 10,0% (0,1) по пробам, разбавленным в 2, 5, 10 и 20 раз. Получились результаты лежащие в интервале 0,0974 – 0,10004 весовых долей. Аналогичная картина наблюдается при определении концентрации слаборазбавленной пробы через интенсивности и m более сильно разбавленной пробы.

Обратило на себя внимание отношение $\frac{I_{2ip}}{I_{2i}-I_{2ip}}$ – оно постоянно, если постоянна степень разбавления, но переменен режим облучения пробы. В нашем случае, например, при определении концентрации дважды разбавленной пробы через характеристики пробы, разбавленной в 10 раз, получим практически одинаковую концентрацию, отличие в пятом порядке (0,05 и 0,05003).

ВЫВОДЫ

- 1) Как прием анализа разбавление пробы веществом с определенным A_p возможно для случая возбуждения вторичной рентгеновской эмиссии участком тормозного спектра анода
- 2) Прием применим, если между началом тормозного спектра анода – λ_0 и краем поглощения анализируемого элемента – λ_q нет других краев поглощения элементов и пробы и разбавителя.
- 3) Прием безэталоный.
- 4) Как вариант приема можно использовать формулу (4) не прибегая к определению отношения интенсивностей I_{2i} и I_{2ip} .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Парамонов, Ф. П.** Флуоресцентный анализ – Павлодар : Керекү, 2011. – 60 с.
- 2 **Лосев, Ф. Ф., Смагунова, А. Н.** Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. – М. : Химия, 1982. – 207 с.
- 3 **Парамонов, Ф. П.** Определение концентрации элементов способом подбора теоретического стандарта // Изв.АНКазССР . Сер. Физика. – 1966. – № 3. – С. 97-98.
- 4 **Criss, I. W, Birks, L. S.** Calculation methods for fluorescent X – Ray spectrometry // Analytical Chemistry. – 1968. – V. 40. – № 7 – P. 1080-1090.

4 **Tsuji, K.** et al. X-ray spectrometry // Analytical Chemistry. – 2010. – V. 82. – № 12 – P. 4950-4987.

6 **Афонин, В. П., Гуничева, Т. Н., Пискунова, Л. Ф.** Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ – Новосибирск : Наука, 1984. – 225 с.

7 **Sherman, J.** Simplification of a formula in the correlation of fluorescent X-ray intensities from mixtures // Spectrochimica Acta. – 1959. – V. 15. – P. 466-47.

Материал поступил в редакцию 31.05.16.

Д. Ф. Парамонов¹, С. Р. Масақбаева², Ф. П. Парамонов²

Полихроматикалық рентгенфлуоресцентті талдау кезінде сіңірудің массалық коэффициенттері белгілі болатын сұйылтқышты қолдану

¹ҚР ӘМ Павлодар ғылыми-техникалық зертхана, Павлодар қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 31.05.16 баспаға түсті.

D. F. Paramonov¹, S. R. Massakbayeva², F. P. Paramonov²

The use of diluent with known weight absorption coefficients at a heterochromatic X-ray fluorescence analysis

¹Pavlodar scientific-production laboratory

Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 31.05.16.

Жұмыста біріншілік және екіншілік сәулеленуді сіңірудің массалық коэффициенттерінің қосындысы белгілі болатын сынаманы сұйылту әдісімен талдау тәсілін қолдану мүмкіншілігі көрсетілген

The article deals with the applicability of the dilution method analysis with known mass absorption amount coefficients of primary and secondary radiation in the case of fluorescence excitation of the anode bremsstrahlung spectrum portion.

Д. Ф. Парамонов¹, С. Ю. Ковтарева², Ф. П. Парамонов³

¹ведущий эксперт, Павлодарская научно-производственная лаборатория МЮ РК, г. Павлодар; ²магистр химической технологии органических веществ, ст. преподаватель; ³к.хим.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар
e-mail: ³paramonov_fr@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ В КАЧЕСТВЕ РАЗБАВИТЕЛЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ЧЁРНЫХ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА (СООБЩЕНИЕ 3)

В сообщении рассматривается случай анализа с использованием рентгеновской флуоресценции, когда в качестве возбуждающего излучения берётся участок тормозного спектра, способный возбудить соответствующую линию спектра определённого элемента. Различие описания приёма анализа от ранее сообщённых заключается в том, что между К-краем анализируемого элемента (Mn) и началом тормозного спектра (λ_0) лежит К-край одного из элементов, входящих в состав наполнителя этой пробы (Fe). Это делает кривую поглощения первичного излучения на участке λ_0 -К-край Mn разрывной (I-род), а сама интенсивность флуоресценции теперь делается состоящей из двух составляющих. При таких условиях возбуждения ищется величина суммы массовых коэффициентов поглощения, если приходится использовать разбавление при проведении этого анализа.

Ключевые слова: флуоресценция, край поглощения, интенсивность, матрица, спектр, абсорбция, окисел, шлак, концентрация.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ продуктов металлургического производства относится к категории трудных и трудоёмких анализов. Поэтому используемые для этих целей методы рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) вполне современны. Однако этот метод не лишён трудностей, так как на результат определения влияют режим питания рентгеновской трубки, состояние образца и самое главное, неизвестность состава наполнителя образца, его матрица. Влияние матрицы огромно, оно может менять интенсивность

линии спектра определяемого элемента в разы. Учёт влияния матрицы на аналитический сигнал – задача и важная и трудоёмкая. Поэтому в РФА постоянно предпринимались и предпринимаются попытки или произвести каким-либо образом учёт влияния матрицы на аналитический сигнал [1-4], или воспользоваться какой-либо методикой анализа, при которой учёт этого влияния производился бы автоматически: использование малых добавок [5], внутренний стандарт [6] и т.д.

В [7] описан приём разбавления пробы веществом, для которого известны массовые коэффициенты поглощения (МКП) как возбуждающего монохроматического рентгеновского излучения, так и вторичного излучения анализируемого элемента. Разбавление образца является операцией, которая двояким образом влияет на интенсивность линии спектра определяемого элемента, она, во-первых, уменьшает концентрацию определяемого элемента в то число раз, в которое разбавляется проба. Во-вторых, разбавление меняет матрицу пробы, т.е. меняет коэффициент пропорциональности K между интенсивностью линии спектра определяемого элемента – I_{2i} и его концентрацией C_i

$$I_{2i} = KC_i \quad (1)$$

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При возбуждении флуоресценции характеристическим излучением интенсивность вторичного излучения элемента I_{2i} определяется по формуле (2)

$$I_{2i} = R \frac{C_i}{\mu(\lambda_x) + \mu''(\lambda_i)}, \quad (2)$$

где R – постоянная опыта; $\mu'(\lambda_x)$, $\mu''(\lambda_i)$ – соответственно МКП пробы по первичному λ_x – характеристическому излучению и аналитическому – λ_i . Штрихи означают, что МКП отнесены соответственно к $\text{Sin}\varphi$ и $\text{Sin}\psi$, где φ и ψ – углы входа в образец первичного излучения и выхода из него вторичного. Если же разбавить пробу в n раз веществом с известным МКП, то после простых преобразований получаем связь между определяемой концентрацией i – элемента пробы C_i , степенью разбавления – n , степенью ослабления интенсивности I_{2i} в связи с этим разбавлением – I_{2ip}

$$\beta = \frac{I_{2i}}{I_{2ip}},$$

и суммой абсорбционных характеристик вещества-разбавителя – A_p

$$A_p = \mu'_p(\lambda_x) + \mu''_p(\lambda_i).$$

Тогда после простых преобразований формулы (2) получаем

$$C_i = \frac{n-1}{\beta-1} I_{2i} A_p \quad (3)$$

Но данная связь между C_i и разбавлением реализована для случая возбуждения пробы характеристическим излучением.

В большинстве случаев возбуждение флуоресценции достигается либо участком тормозного спектра анода, либо смешанным первичным излучением. Поэтому есть необходимость адаптировать формулу (1) к такому случаю инициации флуоресценции. В этом случае в возбуждении флуоресценции участвует только участок тормозного спектра с интервалами от λ_0 – коротковолновой границы спектра до λ_q – края поглощения серии q – определяемого элемента, а сама интенсивность этой линии находится через интегрирование следующего выражения

$$\frac{\lambda(\lambda - \lambda_0)}{\mu(\lambda) + \mu(\lambda_i)}, \quad (4)$$

где МКП возбуждающего излучения есть сумма МКП компонентов (атомных) исследуемого образца вида

$$\mu(\lambda) = \sum B_e C_e \lambda^{\eta_e},$$

B_e – индивидуальная характеристика Z_e элемента, и она может меняться на интервале интегрирования. Например, то же железо на интервале λ_0 – 1,896 Å до точки 1,743 Å характеризуется величиной $B_{Fe} = 97,53$ единиц, а на интервале 1,743 Å-1,896 Å её величина – 12,168. Соответственно меняются и η_e – 2,66 и 2,70. Поэтому для учёта скачков поглощения необходимо разбивать участок тормозного спектра на подучастки, на которых величины B_e постоянны. На нами избранном варианте возбуждения их будет два: [λ_0 – 1,743] и [1,743 – 1,896] соответственно изменяемым МКП первичного излучения за счёт присутствия в образце компонента – железа.

Выражение (4) для чистого элемента определено М. А. Блохиным [8] в предположении, что МКП зависит от длины волны в третьей степени. Но эта связь, как неоднократно указывалось, является приближённой [9], поэтому авторы [9], при расчёте интенсивностей пользовались более точное представление МКП, в которых степень при λ отлична от 3, а интеграл вычислялся методом Симпсона с разбиением интервала интегрирования на 400 участков. Естественно, что для расчётов использовалась ЭВМ.

В качестве анализируемого образца нами был взят «чёрный» шлак, характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики «чёрного» шлака

Оксид	FeO	MnO	CaO	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
Содержание, %	25,63	7,37	28,71	0,08	19,35	4,36	9,71
K -край, Å	1,743	1,896	3,07	5,018	6,744	7,951	9,512
$K\alpha_{1,2}$, Å	1,936	2,102	3,359	5,372	7,125	8,338	9,889

Так как величина A_p – определяется как характеристика, присущая чистому разбавителю, то её величина не должна зависеть от наличия скачков поглощения на интервале интегрирования, и тогда сумма МКП первичного и вторичного излучений для выбранного разбавителя – поваренной соли будет находиться через определённый интеграл:

$$\frac{1}{A_p} = \int_{\lambda_0}^{1,896} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{22,92036 \lambda^{2,79} + 182,124}$$

Полученные значения A_p для $\lambda_0=0,8668$ Å; 0,4958 Å; 0,2479 Å равны соответственно 323,71; 182,33; 136,89 см²/г.

Интенсивности $K\alpha_1$ марганца являлись суммой интегралов с пределами от λ_0 до 1,743 Å (K – край железа) и от 1,743 до 1,896 Å (K -край марганца). Интенсивности от различно образом разбавленных проб (2,5,10,20 раз) и различных напряжений представлены таблицей 2.

Таблица 2 – Интенсивность $K\alpha_1$ – линии марганца от исследуемой пробы в зависимости от напряжения V_p , кВ и степени разбавления - n

λ_0 , Å	0,8668	0,4958	0,2479
I_{2i} (1*)	68,52	123,208	165,661
I_{2i} (2*)	33,308	59,262	79,250
I_{2i} (5*)	12,987	23,114	30,820
I_{2i} (10*)	6,488	11,535	15,377
I_{2i} (20*)	3,221	5,722	7,625

Концентрации, определённые по (3) с учётом (5), представлены таблицей 3. Мы подчёркиваем, что определяем исходную концентрацию 20,79 % Mn.

Таблица 3 – Значение определенных концентраций по (3)

Степень разбавления, n	2	5	10	20
$\lambda_0, \text{Å}$				
0,8668	20,981	20,749	20,941	20,790
0,4958	20,819	20,750	20,884	20,788
0,2479	20,798	20,733	20,883	20,789

Из таблицы 3 видно, что при различных степенях разбавления и в разных условиях возбуждения можно определять концентрации элемента в пробе предложенным приёмом анализа – разбавлением, если известна его сумма МКП. Расхождения между рассчитанной и истинной концентрациями незначительны.

Нетрудно показать, что (4) легко преобразуется к виду (5), если величину β заменить его значением $-I_{2i} / I_{2ip}$. Тогда

$$C_x = A_p (n - 1) I_{2i} \frac{I_{2ip}}{I_{2i} - I_{2ip}} \quad (5)$$

Так как чисто математически мы не накладывали на это преобразование никаких условий, то данный способ определения концентрации C_x должен работать для случая возбуждения флуоресценции участком тормозного спектра, на котором A_x может претерпевать разрывы I-рода.

Будем определять концентрацию дважды разбавленной пробы через интенсивности K_{α_1} -линии марганца, полученные при разбавлении пробы в 5,10,20 раз. Рассмотрим поочерёдно случаи всех четырёх режимов генерации вторичной эмиссии.

Таблица 4 – Результаты пересчётов концентраций через концентрации более разбавленных по (5)

№ п/п	$\lambda_0, \text{Å}$	0,8668	0,4958	0,2479
		Вариант пересчёта		
1	$A_p(\text{NaCl})$	323,71	182,33	136,89
2	2*→5*(Искомая $C_x=10,395\%$)	10,336	10,364	10,356
3	2*→10*(Искомая $C_x=10,395\%$)	10,433	10,446	10,447
4	2*→20*(Искомая $C_x=10,395\%$)	10,387	10,393	10,394
5	5*→10*(Искомая $C_x=4,198\%$)	4,197	4,198	4,201

6	5*→20*(Искомая $C_x=4,198\%$)	4,160	4,160	4,161
7	10*→20*(Искомая $C_x=2,079\%$)	2,071	2,070	2,070

Эта таблица показывает, что формула (3) многовариантна, и её можно использовать в виде (5), а в целом на приём не оказывает влияние ни полихроматичность первичного излучения, ни его частичная фильтрация в самом образце при его прохождении через анализируемое вещество.

Нами уже отмечалось, что вещество-разбавитель может быть единым для всех элементов, которые нужно определить количественно в данном образце. При этом и степени разбавления и режим работы рентгеновской трубки будут одинаково приемлемыми для всех этих элементов, например, поваренная соль может быть использована для определения содержания железа, причём условия определения остаются едиными как для марганца, так и для железа.

Для упрощения расчётов преобразуем (3). Будем считать, что

$$I_{2i} = C \cdot L_c, \text{ где}$$

$$L_c = \int_{\lambda_0}^{1,743} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0)d\lambda}{\mu(\lambda) + \mu(\lambda K_{\alpha} Fe)}$$

Нам необходимо найти I_{2i} и I_{2ip} раз, а так же A_p . Определяем A_p для различных $\lambda_0 - 0,8668; 0,4958; 0,2479 \text{ Å}$. Длина волны флуоресценции железа – $K_{\alpha_1} \text{ Fe}$ равна $1,936 \text{ Å}$, а K -край поглощения $Fe - 1,743 \text{ Å}$

$$A_p^{-1}(\text{NaCl}, K_{\alpha_1} \text{Fe}) = \int_{\lambda_0}^{1,743} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0)d\lambda}{22,91137 \cdot \lambda^{2,79} + 144,716} = 0,00261027 \cdot 10^{-5}$$

Для вышеуказанных λ_0 получили соответствующие значения A_p : 383,102; 197,729; 143,040.

Исходный интеграл интенсивности L_c определяется для различных λ_0 как $\int_{\lambda_0}^{1,743} \frac{\lambda(\lambda - \lambda_0)d\lambda}{36,5777 \lambda^{2,66} + 2,90305 \lambda^{2,79} + 1,07158 \lambda^{2,92} + 122,4213}$, его величина 235,857; 472,385; 661,613 умножается на 10^{-5} .

Обозначим исходную интенсивность I_{2c} , как $I_{2c} = C \cdot L_c$. После этого преобразуем исходную формулу

$$C_x = I_{2c} \cdot A_p \frac{n - 1}{\beta - 1}$$

через L_c и $\delta = \frac{L_c}{L_{cp}}$. После простых преобразований получим соотношение

$$L_c \cdot A_p \frac{n-1}{n\delta-1} = 1.$$

Расчёт этой величины для различных n и λ_0 показывает, что использование одного и того же вещества в качестве разбавителя с известным A_p вполне приемлемо, если при этом руководствоваться определёнными правилами. В частности по железу получили следующие результаты, они введены в таблицу 5.

Таблица 5 – Соответствие левой и правой части соотношения (6)

$\lambda_0, \text{Å}$	0,8668	0,4958	0,2479
Степень разбавления			
2	0,988	0,9896	0,9708
5	1,003	1,005	1,002
10	0,9996	1,002	0,9992
20	0,9998	1,0025	0,9996

Результаты пояснений не требуют.

ВЫВОДЫ

1. Предложенный приём анализа с разбавлением пробы, у которой известна сумма МКП, может быть использован в случае наличия скачков поглощения на участке тормозного спектра анода, способного возбудить флуоресценцию определённого элемента.

2. Принципиального отличия между методиками определения A_p не наблюдается от ранее используемых при решении аналогичных задач.

3. Как и ранее величина A_p может быть определена (или рассчитана) заранее.

Вещество разбавитель может быть единым для различных определяемых элементов в одной и той же пробе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Лосев, Н. Ф. Исследование способа внешнего стандарта при рентгеновском спектральном флуоресцентном анализе минерального сырья. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – Иркутск : Государственный университет им. А. А. Жданова, 1960.

2 Демьяников, И. Г., Парамонов, Ф. П. К учету влияния элементов проб на интенсивность линий при рентгеноспектральном анализе. – М. : Металлургия, «Зав лаб» № 1. – 1962.

3 Павлинский, Г. В. Исследование интенсивности рентгеновского спектра флуоресценции, возбуждённой смешанным первичным излучением. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – Иркутск : Государственный университет им. А. А. Жданова, 1966.

4 Афонин, В. П. Исследование влияния спектрального состава первичного излучения на интенсивность длинноволновой рентгеновской флуоресценции. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – Иркутск : Государственный университет им. А. А. Жданова, 1968.

5 Лосев, Н. Ф., Смагунова, А. Н. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. – М. : Химия, 1982. – 207 с.

6 Либхавски, Х. А., Пфейфер, Э. Г., Уинслоу, Э. Г., Земани, П. Д. Применение поглощения и испускания рентгеновских лучей. – М. : Металлургия, 1964. – 391 с.

7 Парамонов, Ф. П. Рентгенофлуоресцентный анализ. – Павлодар : Кереку, 2011. – 67 с.

8 Блохин, М. А. Физика рентгеновских лучей. – М. : ГИТТЛ, 1957. – 518 с.

9 Афонин, В. П., Гуничева, Т. Н., Пискунова, Л. Ф. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ. – Новосибирск : Наука, 1984. – 227 с.

10 Дж.Эмсли. Элементы. – М. : Мир, 1993. – 257 с.

11 Thiesen R. Quantitative Electron Microprobe Analysis. – Springer-Verlag, New-York. Inc.1965.

12 Блохин, М. А., Швейцер, И. Г. Рентгеноспектральный справочник. – М. : Наука, 1982. – 376 с.

Материал поступил в редакцию 31.05.16.

Д. Ф. Парамонов¹, С. Ю. Ковтарева², Ф. П. Парамонов²

Металлургиялық өндірістің қара қоқыстарын талдауда ас тұзын сұйылтқыш ретінде қолдану

¹ҚР ӨМ Павлодар ғылыми-техникалық зертхана, Павлодар қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 31.05.16 баспаға түсті.

The use of salt as a diluent at the analysis of ferrous metallurgical slag¹Pavlodar scientific-production laboratory
Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Pavlodar;²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 31.05.16.

Мәлімдемеде қоздыру сәулесі ретінде белгілі бір элементтің спектрінің тиісті сызығын қоздыруға қабілетті болатын, тежеуіш спектрінің бөлігі қоздыратын сәуле ретінде алынатын, рентгендік флуоресценцияны қолданумен талдау жағдайы қарастырылады. Талдау тәсілінің сипаттамасының алдыңғы хабарланғандардан айырмашылығы талданатын элементтің (Mn) K-шеті мен тежеуіш спектрінің λ_0) басы арасында осы сынаманың (Fe) толықтырғышының құрамына кіретін элементтердің бірінің K-шеті жасатынында болады. Бұл λ_0 -K-шеті Mn бөлігіндегі біріншілік сіңіру қисығының үзілмелі болуына әкеледі, ал флуоресценцияның интенсивтілігі екі құраушыдан тұрады. Қоздырудың бұндай жағдайларында егер осы талдауды жүргізуде сұйылтуды қолдану қажет болса, онда сіңірудің массалық коэффициенттерінің қосындысының шамасы ізделеді.

The report examines the case of analysis using X-ray fluorescence, when the stimulating light is the brake portion of the spectrum that can initiate the appropriate line of the spectrum of a certain element. The difference of the analysis from the previous descriptions lies in the fact that between K-edge analyte (Mn) and the beginning of the bremsstrahlung spectrum (λ_0) is a K-edge of one of the elements that make up the filling of the sample (Fe). This makes the absorption curve in the area of the primary radiation λ_0 -K-edge Mn breaking (I-genus), and the intensity of the fluorescence is composed of two components. Under these excitation conditions the value of the sum of the mass absorption coefficients, is sought if you have to use a dilution in conducting this analysis.

УДК 622.691:622.694

В. В. Рындин¹, Д. М. Абитова²¹к.т.н., профессор; ²студент, Павлодарский государственный университет,
г. Павлодарe-mail: ²abitova_diana110695@mail.ru**РАСЧЁТ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА
ПО ЧЕТЫРЁМ ВАРИАНТАМ В СИСТЕМЕ MATHCAD**

Приведена программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, позволяющая на стадии проектирования определять оптимальный диаметр трубопровода для нескольких значений давления нефти, строить QH-характеристики трубопроводов и перекачивающих станций, автоматически находить положение станций и рабочую точку системы.

Ключевые слова: проектирование магистральных нефтепроводов, система Mathcad, выбор диаметра и давления, положение станций.

ВВЕДЕНИЕ

Цель статьи – привлечь внимание проектировщиков магистральных нефтепроводов (МН) к использованию в своих расчётах системы MathCAD. В настоящее время при расчёте МН используется электронная таблица Microsoft Excel, разработанная для бухгалтеров. Mathcad же был специально создан для инженеров. Применение Mathcad к расчёту МН позволяет решать систему уравнений (характеристик нефтепровода и насосных станций) и определять рабочую точку системы, положение станций, строить различные графики.

На кафедре «Механика и нефтегазовое дело» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова разработана программа расчёта МН в системе Mathcad для одного диаметра трубопровода [1]. Начальные сведения по работе в среде MathCAD, достаточные для создания подобной программы, даны в [2]. Ниже приведена программа расчёта МН в системе MathCAD, позволяющая экономически обосновывать выбор того или иного диаметра трубопровода для соответствующего давления. Из-за ограниченности объёма статьи некоторые части программы сокращены.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Задание. Сделать технологический расчёт нефтепровода для двух давлений и двух диаметров трубопровода, длиной 559 км, пропускной

способностью 50 млн т/год в системе Mathcad. Всё ниже написанное, включая и комментарии, может составлять содержание программы расчёта – система сама определяет, где текст, а где математические выражения (для наглядности в текстовой части символы величин будем писать курсивом, а в формулах Mathcad – вертикальным шрифтом); в скобках перед расчётными формулами выводятся с помощью знака равно «:=» значения величин, входящих в данную формулу.

Задаём **исходные данные** для расчёта МН, т. е. присваиваем буквенным обозначениям величин числовые значения. Ввод символа присваивания – двоеточия с равно «:=» осуществляется нажатием клавиши с символом двоеточия «:».

Плотность нефти $\rho := 860 \text{ кг/м}^3$.

Кинематическая вязкость $\nu := 20 \text{ сСт}$.

Массовая пропускная способность нефтепровода

$G_r := 50 \text{ млн т/год}$.

Разность геодезических отметок в начале и в конце нефтепровода $\Delta Z := 66 \text{ м}$.

Протяжённость нефтепровода (перевальные точки отсутствуют) $L_{тр} := 559 \text{ км}$ или $L := L_{тр} \cdot 10^3 = 559000 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g := 9.81 \text{ м/с}^2$.

Для пропускной способности 50 млн т/год рекомендуется диаметр $D := 1220 \text{ мм}$ и давление $p := 5.5 \text{ МПа}$ [3]. Для нахождения оптимального диаметра нефтепровода, кроме рекомендуемого диаметра, принимаем еще один конкурирующий диаметр – 1020 мм (второй конкурирующий диаметр, больший 1220 мм, выбрать нельзя, так как 1220 мм – максимальный диаметр МН), а также принимаем конкурирующее значение давления $p := 6.4 \text{ МПа}$. Для каждого значения диаметра проводится технологический расчёт для двух давлений (всего четыре варианта расчёта); после экономического сравнения вариантов выбирается рациональный вариант.

Определение плановой пропускной способности. Расчётное число рабочих дней МН согласно таблице П.17 [3] $N_p := 350$.

Плановая объёмная пропускная способность нефтепровода Q_0

$(G_r = 50; N_p = 350; \rho = 860)$

$$Q_0 := \frac{G_r \cdot 10^9}{N_p \cdot 24 \cdot \rho} = 7262.442 \text{ м}^3/\text{ч},$$

или секундный расход $Q_c := \frac{Q_0}{3600} = 2.019 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расчёт толщины стенки трубопровода. Предварительно по таблице П.19 [3] выбираем трубы Челябинского трубопрокатного завода (ЧТЗ):

– для диаметра $D_{1220} := 1.220 \text{ м}$ – марка стали 12ГСБ;

– для диаметра $D_{1020} := 1.020 \text{ м}$ – марка стали 13Г1С-У.

Временные сопротивления стали на разрыв $\sigma_{вр}$ и коэффициенты надёжности по материалу k_1 выбираются для соответствующей марки стали:

$\sigma_{1220} := 550 \text{ МПа}, k_{1.1220} := 1.4,$

$\sigma_{1020} := 540 \text{ МПа}, k_{1.1020} := 1.47.$

Расчётные сопротивления металла трубы и сварных соединений R_1 (где m_y – коэффициент условий работы трубопровода, $m_y := 0.9$; k_H – коэффициент надёжности по назначению трубопровода, $k_H := 1.05$) определяются по формулам:

$$R_{1.1220} := \frac{\sigma_{1220} \cdot m_y}{k_{1.1220} \cdot k_H} = 336.735 \text{ МПа},$$

$$R_{1.1020} := \frac{\sigma_{1020} \cdot m_y}{k_{1.1020} \cdot k_H} = 330.612 \text{ МПа}.$$

Для обозначения величин, определяемых при давлении 5,5 МПа, к символу добавляется единица (1): $p1 := 5,5 \text{ МПа}$; $p := 6.4 \text{ МПа}$.

Из-за недостатка места расчёт коэффициентов Ψ_1 , учитывающих двухосное напряжённое состояние труб, не приводится:

$\Psi_{1.1220} = 0.981$; $\Psi_{1.1020} = 0.978$; $\Psi_{1.1220} = 0.994$; $\Psi_{1.1020} := 0.997$.

Толщины стенок при наличии продольных осевых сжимающих напряжений определяется по формулам ($n_1 := 1.15$):

$$\delta_{1220} := \frac{n_1 \cdot p1 \cdot D_{1220}}{2(n_1 \cdot p1 + \Psi_{1.1220} \cdot R_{1.1220})} = 0.0115 \text{ м};$$

$$\delta_{1020} := \frac{n_1 \cdot p1 \cdot D_{1020}}{2(n_1 \cdot p1 + \Psi_{1.1020} \cdot R_{1.1020})} = 0.010 \text{ м};$$

$$\delta_{1220} := \frac{n_1 \cdot p \cdot D_{1220}}{2(n_1 \cdot p + \Psi_{1.1220} \cdot R_{1.1220})} = 0.0131 \text{ м};$$

$$\delta_{1020} := \frac{n_1 \cdot p \cdot D_{1020}}{2(n_1 \cdot p + \Psi_{1.1020} \cdot R_{1.1020})} = 0.0112 \text{ м}.$$

Округляем значения толщин стенок в большую сторону до номинального значения [3, П19]: $\delta_{1220} := 0.012 \text{ м}$; $\delta_{1020} = 0.010 \text{ м}$; $\delta_{1220} := 0.014 \text{ м}$; $\delta_{1020} := 0.012 \text{ м}$.

Внутренние диаметры трубопроводов: $d_{1220} := D_{1220} - 2 \cdot \delta_{1220} = 1.196 \text{ м}$, $d_{1020} := D_{1020} - 2 \cdot \delta_{1020} = 1.000 \text{ м}$, $d_{1220} := D_{1220} - 2 \cdot \delta_{1220} = 1.192 \text{ м}$, $d_{1020} := D_{1020} - 2 \cdot \delta_{1020} = 0.996 \text{ м}$.

Гидравлический расчёт нефтепровода. Число Рейнольдса для четырёх вариантов ($Q_c = 2.0187 \text{ м}^3/\text{с}$; $\pi = 3.14$; $\nu = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$):

$$Re_{11220} := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d_{11220} \cdot v} = 107455; \quad Re_{11020} := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d_{11020} \cdot v} = 128517;$$

$$Re_{1220} := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d_{1220} \cdot v} = 107816; \quad Re_{1020} := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d_{1020} \cdot v} = 129033.$$

Так как $Re > Re_{кр} = 2300$, то режим течения для всех труб турбулентный. Для стальных сварных труб после нескольких лет эксплуатации эквивалентная шероховатость $k_s := 0.1 \cdot 10^{-3}$ м [4].

Переходные числа Рейнольдса

$$Re_{пер1.1220} := \frac{10 \cdot d_{1220}}{k_s} = 119600;$$

$$Re_{пер2.1220} := \frac{500 \cdot d}{k_s} = 5980000;$$

$$Re_{пер1.1020} := \frac{10 \cdot d_{1020}}{k_s} = 119200;$$

$$Re_{пер2.1020} := \frac{500 \cdot d}{k_s} = 5960000.$$

Поскольку для труб с $d_{11220} = 1.196$ м и $d_{1220} = 1.192$ м числа Рейнольдса лежат в диапазоне $Re_{кр} < Re < Re_{пер1}$, то режим течения для этих диаметров турбулентный в зоне гидравлически гладких труб. Поскольку для труб с $d_{11020} = 1.000$ м и $d_{1020} = 0.996$ м числа Рейнольдса лежат в диапазоне $Re_{пер1} < Re < Re_{пер2}$, то режим течения турбулентный в зоне смешанного трения.

Гидравлический уклон определяем по формуле Лейбензона, в которой значения β и m выбираются по таблице 5.3 [4]:

а) для зоны гидравлически гладких труб $\beta := 0.0246$, $m := 0.25$: ($Q_c = 2.0187 Q_c$ м³/с; $v = 20 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $d_{11220} = 1.196$ м; $d_{1220} = 1.192$ м):

$$i_{11220} := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d_{11220}^{5-m}} = 0.00240,$$

$$i_{1220} := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d_{1220}^{5-m}} = 0.00244;$$

б) для зоны смешанного трения $m := 0.123$, $\epsilon := \frac{k_s}{d} = 0.0001$,

$$A_1 := 10^{0.127 \log(\epsilon) - 0.627} = 0.0733; \quad \beta := 0.0802 \cdot A_1 = 0.0059; \\ (d_{11020} = 1.000 \text{ м}; \quad d_{1020} = 0.996 \text{ м})$$

$$i_{11020} := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d_{11020}^{5-m}} = 0.00581,$$

$$i_{1020} := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d_{1020}^{5-m}} = 0.00592.$$

Полные потери напора в трубопроводе ($L_{тр} := 559000$ м):

а) для давления $p = 5.5$ МПа:

$$(i_{11220} = 0.0024) \quad h_{11220} := i_{11220} \cdot L_{тр} = 1343.6 \text{ м},$$

$$(i_{11020} = 0.0058) \quad h_{11020} := i_{11020} \cdot L_{тр} = 3245.2 \text{ м};$$

б) для давления $p = 6.4$ МПа:

$$(i_{1220} = 0.00244) \quad h_{1220} := i_{1220} \cdot L_{тр} = 1365.2 \text{ м},$$

$$(i_{1020} = 0.0059) \quad h_{1020} := i_{1020} \cdot L_{тр} = 3309.3 \text{ м};$$

Максимальный напор линии нагнетания ($\rho = 860$; $g = 9.81$):

а) для давления $p = 5.5$ МПа $H_{н1} := \frac{p \cdot 10^6}{\rho \cdot g} = 652$ м,

б) для давления $p = 6.4$ МПа $H_{н2} := \frac{p \cdot 10^6}{\rho \cdot g} = 759$ м.

Число насосных станций n определяется по формуле

$$n := \frac{h_{тр} + \Delta Z}{H_{н} - h_{н}},$$

где $h_{тр}$ – потери напора на гидравлические сопротивления;

$h_{н}$ – напор в линии всасывания насосной станции, складываемый из потерь в коммуникациях станции и давления, требуемого для обеспечения работы основных насосов без кавитации, $h_{н} := 90$ м;

$H_{н}$ – максимальный напор линии нагнетания станции;

$\Delta Z = 66$ м – перепад высот в конце и в начале трубопровода.

Расчёт числа насосных станций:

а) для давления $p = 5.5$ МПа ($H_{н} := H_{н1} = 652$ м):

$$h_{тр} := h_{11220} = 1343,6 \text{ м}; \quad n_{11220} := \frac{h_{тр} + \Delta Z}{H_{н} - h_{н}} = 2.5;$$

принимаем $n_{11220} := 3$;

$$h_{тр} := h_{11020} = 3245,2 \text{ м}; \quad n_{11020} := \frac{h_{тр} + \Delta Z}{H_{н} - h_{н}} = 5.9;$$

принимаем $n_{11020} := 6$;

б) для давления $p = 6.4 \text{ МПа}$ ($H_n := H_{n2} = 759 \text{ м}$):

$$h_{\text{тр}} := h_{1220} = 1365.2 \text{ м}; n_{1220} := \frac{h_{\text{тр}} + \Delta Z}{H_n - h_n} = 2.1,$$

принимаем $n_{1220} := 3$;

$$h_{\text{тр}} := h_{1020} = 3309.3 \text{ м}; n_{1020} := \frac{h_{\text{тр}} + \Delta Z}{H_n - h_n} = 5.1,$$

принимаем $n_{1220} := 6$.

Определение «грубых» приведённых затрат. Удельные капитальные затраты с учётом четырёх толщин труб (тенге/км):

$$ЛЧ_{1220} := 83.5 \times 10^6; ЛЧ_{1220} := 84.816173 \times 10^6;$$

$$ЛЧ_{1020} := 69.7 \times 10^6; ЛЧ_{1020} := 70.800118 \times 10^6.$$

Капитальные затраты на линейную часть трубопровода

$$K_{1220} := ЛЧ_{1220} \cdot L_{\text{тр}} = 46.6765 \times 10^9 \text{ тенге};$$

$$K_{1220} := ЛЧ_{1220} \cdot L_{\text{тр}} = 47.412240707 \times 10^9 \text{ тенге};$$

$$K_{1020} := ЛЧ_{1020} \cdot L_{\text{тр}} = 38.9623 \times 10^9 \text{ тенге};$$

$$K_{1020} := ЛЧ_{1020} \cdot L_{\text{тр}} = 39.577265962 \times 10^9 \text{ тенге}.$$

Капитальные вложения в одну НПС:

а) в головную насосную станцию $C_{\text{гпс}} := 3345000$ тенге;

б) в одну промежуточную НС $C_{\text{пс}} := 585000$ тенге.

Суммарные затраты по НПС:

$$\Sigma П_{\text{нпс}1220} := C_{\text{гпс}} + C_{\text{пс}} \cdot n_{1220} = 5.1 \times 10^6 \text{ тенге};$$

$$\Sigma П_{\text{нпс}1020} := C_{\text{гпс}} + C_{\text{пс}} \cdot n_{1020} = 6.855 \times 10^6 \text{ тенге};$$

$$\Sigma П_{\text{нпс}1220} := C_{\text{гпс}} + C_{\text{пс}} \cdot n_{1220} = 5.1 \times 10^6 \text{ тенге};$$

$$\Sigma П_{\text{нпс}1020} := C_{\text{гпс}} + C_{\text{пс}} \cdot n_{1020} = 6.855 \times 10^6 \text{ тенге}.$$

Приведенные затраты для четырёх вариантов расчёта:

$$S_{1220} := K_{1220} + \Sigma П_{\text{нпс}1220} = 46.6816 \times 10^9 \text{ тенге};$$

$$S_{1020} := K_{1020} + \Sigma П_{\text{нпс}1020} = 38.969155 \times 10^9 \text{ тенге};$$

$$S_{1220} := K_{1220} + \Sigma П_{\text{нпс}1220} = 47.417340707 \times 10^9 \text{ тенге};$$

$$S_{1020} := K_{1020} + \Sigma П_{\text{нпс}1020} = 39.584120962 \times 10^9 \text{ тенге}.$$

Как следует из расчёта, наибольшая стоимость вариантов трубопроводов с диаметром 1220 мм, а наименьшая с диаметром 1020 мм. Выбираем в качестве основного вариант с наименьшими приведёнными затратами – второй вариант: давление 5,5 МПа, наружный диаметр трубопровода 1020 мм, внутренний диаметр 1000 мм, толщина стенки 10 мм.

Выбор марки магистрального (рабочего) и подпорного насосов. Для $Q_0 = 7267,44 \text{ м}^3/\text{ч}$ по таблицам 3.4 и 3.8 [4] выбираем в качестве магистрального насоса спиральный насос типа НМ 7000–210, а в качестве подпорных – три вертикальных насоса НПВ 2500–80, устанавливаемых параллельно. По этим таблицам выбираем значения величин: $H_0 := 296.6$; $b := 1.87 \times 10^{-6}$; $H_{0\text{п}} := 79.7$; $b_{\text{п}} := 1.0 \times 10^{-6}$.

Определяем напоры насосов при $Q := Q_0 = 7267,44 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$H_{\text{мн}} := H_0 - b \cdot Q^2 = 197.835 \text{ м}; H_{\text{пн}} := H_{0\text{п}} - b_{\text{п}} \cdot \left(\frac{Q}{3}\right)^2 = 73.832 \text{ м}.$$

Расчёт числа станций. Потребный напор на перекачку нефти при остаточном напоре на конечном пункте $h_{\text{ост}} := 32 \text{ м}$ ($N_3 := 1$, $i := i_{1020} = 0.00581$; $\Delta Z = 66$, $L = 559000$)

$$H := 1.02 \cdot i \cdot L + \Delta Z + N_3 \cdot h_{\text{ост}} = 3408 \text{ м},$$

где 1.02 – коэффициент, учитывающий надбавку на местные сопротивления.

Напор одной станции при числе МН $m_{\text{мн}} := 3$ и внутростанционных потерях $h_{\text{вн}} := 15 \text{ м}$ ($H_{\text{мн}} = 197.835$)

$$H_{\text{ст}} := m_{\text{мн}} H_{\text{мн}} - h_{\text{вн}} = 579 \text{ м}.$$

Число станций для обеспечения потребного напора

$$n_0 := \frac{H - N_3 H_{\text{пн}}}{H_{\text{ст}}} = 5.764.$$

Если округлить число НПС в меньшую сторону $n := 5$, то сопротивление трубопровода можно снизить прокладкой лупинга (параллельного участка трубопровода) Длина лупинга ($i_{\text{луп}} = 0.00158$)

$$L_{\text{луп}} := \frac{(n_0 - n) \cdot H_{\text{ст}}}{1.02(i - i_{\text{луп}})} = 102518 \text{ м}.$$

Длина лупинга не должна превышать 20 % длины трубопровода. В нашем случае доля лупинга равна 18 %, то есть допустимо.

Потребный напор для нефтепровода в функции от Q

$$H_{\text{луп}}(Q) := 1.02 \cdot i(Q) \cdot [L - L_{\text{луп}} \cdot (1 - \omega)] + \Delta Z + N_3 \cdot h_{\text{ост}}.$$

Располагаемый напор от всех станций в функции от Q

$$H_{\text{сум}}(Q) := N_3 \cdot H_{\text{пн}}(Q) + m_{\text{мн}} \cdot n \cdot H_{\text{мн}}(Q) - n \cdot h_{\text{вн}}.$$

Точку пересечения характеристик трубопровода и насосных станций находим с помощью встроенной функции Given-Find (знак «жирное равно» вводится при одновременном нажатии клавиш Ctrl и =). Предварительно задаём, например, $Q := 7000$.

Given $H_{\text{луп}}(Q) = H_{\text{сум}}(Q) Q_{\text{раб}} := \text{Find}(Q) = 7267.442 \text{ м}^3/\text{ч}$, что совпадает плановой $Q_0 = 7267.442 \text{ м}^3/\text{ч}$, следовательно, расчёт рабочей точки выполнен верно.

Значения координат x (км) точек трассы и соответствующие им значения z (м) геодезических высот заносим в матрицу (таблицу) M . Выделяем 1-й и 2-й столбцы матрицы: $X := M^{<1>}$, $Z := M^{<2>}$.

С помощью программы линейной интерполяции Mathcad табличные значения преобразуем в кривую зависимости высоты z от координаты x : $z(x) := \text{linterp}(X, Z, x)$.

Расстановка перекачивающих станций осуществляется аналитически с использованием системы Mathcad. Линии падения напора от 1-й станции (линии гидравлического уклона):

$$H_1(x) := z_n + H_{ст} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000,$$

$$H_{1п}(x) := H_n + z_n + H_{ст} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000.$$

Аналогичным образом записываются линии падения напоров от 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти станций (при этом $H_{ст}$ умножается на 2, 3, 4 и 5).

Координата положения лупинга $x_{луп} := L_{тр} - L_{луп} = 456.48$ км.
 Полный напор в точке начала лупинга $H_{лп} := H_{5п}(x_{луп}) = 299.27$ м.

Линия падения полного напора на участке с лупингом
 $H_{5лп}(x) := H_{лп} - 1.02 \cdot i_{луп} \cdot (x - x_{луп}) \cdot 1000.$

Координата второй станции находится как точка пересечения линии сжатого профиля трассы $z(x)$ с линией падения напора от первой станции $H_1(x)$. Точка пересечения находится путём приравнивания этих уравнений и решения их с помощью оператора Given-Find (задаём начальное приближение, например, $x := 80$ км)

$$\text{Given } H_1(x) := z(x); x_{ст2} := \text{Find}(x) = 80.648 \text{ км};$$

$$z_{ст2} := z(x_{ст2}) = 136.944 \text{ м}.$$

Аналогичным образом находим координаты 3-ей, 4-ой и 5-ой станций:
 $x_{ст3} := 190.605$ км, $z_{ст3} := 64.335$ м; $x_{ст4} := 287.231$ км, $z_{ст4} := 70.665$ м; $x_{ст5} := 391.303$ км; $z_{ст5} := 32.909$ м.

Задание линии полных напоров (с учётом подпорных насосов) $H_n(x)$ осуществляется с помощью программного модуля. Для создания программного модуля используется встроенная функция Add line, которая создаёт вертикальную линию слева. Предварительно задаём массив чисел $x := 0.559$ км (символ последовательности чисел «..» задаётся нажатием клавиши, содержащей «;»).

$$H_n(x) = \begin{cases} H_{1п}(x) & \text{if } 0 \leq x \leq x_{ст2} \\ H_{2п}(x) & \text{if } x_{ст2} \leq x \leq x_{ст3} \\ H_{3п}(x) & \text{if } x_{ст3} \leq x \leq x_{ст4} \\ H_{4п}(x) & \text{if } x_{ст4} \leq x \leq x_{ст5} \\ H_{5п}(x) & \text{if } x_{ст5} \leq x \leq x_{луп} \\ H_{5лп}(x) & \text{if } x_{луп} \leq x \leq L_{тр} \end{cases}$$

На рисунке 1 приведены прямые линии гидравлических уклонов $H_1(x)$ — $H_{4п}(x)$, дающие точки пересечения (положение 2-й, 3-й, 4-й и 5-й НПС) с линией профиля трассы $z(x)$, и зигзагообразная линия $H_n(x)$ изменения полных напоров $H_n(x)$ вдоль трассы.

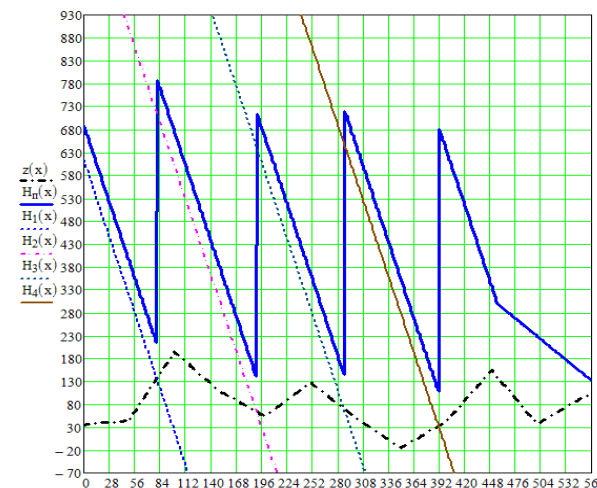


Рисунок 1 – Расстановка пяти станций на трассе МН

В конечном пункте разность напора и геодезической высоты должна равняться остаточному напору ($h_{ост} = 32$; $L_{тр} = 559$; $H_n(L_{тр}) = 134$; $z_k = 102$) $H_n(L_{тр}) - z_k = 32$ м. Расчёт сходится.

ВЫВОДЫ

1 Разработана программа расчёта магистрального нефтепровода для двух давлений и двух диаметров трубопровода в системе Mathcad. После сопоставления четырёх вариантов по экономическому эффекту выбирается рациональный диаметр трубопровода и толщина стенки.

2 Преимущество данной программы перед другими программами заключается в её доступности и возможности любому пользователю изменять её отдельные блоки без изучения логики традиционного программирования.

3 Данная программа может быть использована как в курсовом, так и дипломном проектировании, а также в проектных организациях при проектировании нефтепроводов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Мажимова, Д. Ж.** Применение математической системы Mathcad для расчета трубопровода Ескене-Курык [Текст] / Д. Ж. Мажимова, В. В. Рындин // Вестник ПГУ. Энергетика. – 2015. – № 1. – С. 114–119.

2 **Макушев, Ю. П.** Интегральное и дифференциальное исчисления в приложении к технике [Текст] : научное издание / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, В. В. Рындин, Т. Т. Токтаганов. – Павлодар : Кереку, 2013. – 330 с. : ил. ISBN 978-601-238-300-3.

3 Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах [Текст] : учеб, пособие / Под общей редакцией Ю. Д. Земенкова. – СПб. : Недра, 2004. – 544 с. : ил. ISBN 5-86093-117-4.

4 **Тугунов, П. И.** Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов [Текст] : учеб. пособие / П. И. Тугунов, В. Ф. Новосёлов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – Уфа : ООО ДизайнПолиграфСервис, 2002. – 658 с. : ил. ISBN 5-94423-023-1.

Материал поступил в редакцию 09.06.16.

В. В. Рындин, Д. М. Абитова

Mathcad жүйесіндегі магистральді мұнай құбырын төрт нұсқамен есептеу

С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 09.06.16 баспаға түсті.

V. V. Ryndin, D. M. Abitova

Calculation of the main oil pipeline on four variants in the system MathCAD

S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 09.06.16.

Жобалау сатысында мұнай қысымының бірнеше мәніне оңтайлы құбыр диаметрін анықтап, өткізгіш құбырлар мен қайта айдау

станцияларының ҚН-сипаттамаларын құратын және автоматты түрде станциялардың орналасуы мен жүйенің жұмыс нүктесін табуға мүмкіндік беретін, Mathcad жүйесіндегі магистральді мұнай құбырын есептеу бағдарламасы келтірілген.

The program of calculation of the main oil pipeline in Mathcad system allowing to determine the optimum diameter of the pipeline for several values of pressure of oil, at a design stage to build QH characteristics of pipelines and the pumping stations, to find the position of stations and the working point of the system automatically is provided.

ӘОЖ 669.717=512.122

**Е. Р. Тәжібай¹, Е. А. Искаков¹, Ә. А. Мағаз¹,
А. М. Достоева²**

¹магистранттар, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ. ²PhD доктор, аға оқытушы, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ.

e-mail: ¹erzhan.tazhibaev@mail.ru; ²ardak_erkekyz@mail.ru

АЛЮМИНИЙ НЕГІЗІНДЕГІ ТЕРМОТҰРАҚТЫ СЫМ ДАЙЫНДАУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЛЕГІРЛЕУШІ ҚОСПАЛАРҒА ТАЛДАУ

Ғылыми жұмыста Al–PЗМ (PЗМ саласында 15 % дейін) және Al–Zr (салада 0,6 % Zr дейін) жүйесі негізінде термотұрақты алюминий балқымаларының салыстырмалы талдауы келтірілген. 01417 және АЦр1Е типтес термотұрақты алюминий балқымаларының меншікті электрлік қарсыласуы мен механикалық қасиеттері талданды. Al-Zr жүйесі негізіндегі балқыма термотұрақты және өткізгіштігімен аса үйлесімді екені дәлелденген.

Кілтті сөздер: алюминий, өткізгіш балқымалар, меншікті электрлік қарсыласу, өткізу.

КІРІСПЕ

Алюминийдің жоғары электр өткізгіштігі оны кабель өндірісінің кең номенклатурасының өндірісі үшін қолданудың шарты болды [1, 2]. Сол немесе басқа дәрежеде басқа элементтер қосу электр өткізгіштікті

төмендететіндіктен, сымды көбінесе техникалық алюминийден (А5Е немесе А7Е) [3,4] немесе Al-Si-Mg жүйесінің, жеке алғанда АВЕ маркасының төмен қоспаланған қорытпаларынан жасайды [5].

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Қазіргі кезде техниканың түрлі салаларында алюминий қорытпалары негізінде термиялық төзімді материалдарға қатты қызығушылық артты (жеке алғанда, энергетикада жоғары вольтты әуе ЭБЖ сымдарын дайындау үшін). Осы материал төмен электр кедергісін және қыздырудан кейін 250-300 °С дейін сақталатын жеткілікті беріктікті үйлестіруі керек. Соңғы талап техникалық алюминийден және АВЕ типті қорытпадан жасалған дәстүрлі сымдарды пайдалануға жол бермейді, себебі типті ~200-250 °С жоғары қысқа мерзімді қыздыру олардың қатты беріксізденуіне алып келеді.

Өткен ғасырдың жетпісінші-тоқсаныншы жылдары В. И. Добаткиннің [6-7] жетекшілігімен жүргізілген еңбектерде термиялық төзімді қорытпалар жасау үшін алюминийді ыстыққа төзімділік сипаттамаларын айтарлықтай арттыруды қамтамасыз етуге қабілетті церийді және басқа СЖМ (жеке алғанда, мишметалл түрінде – Мм) қоспаларымен қоспалау ұсынылды. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері 01417 қорытпа құрамында бейнесін тапты, онда 7 % СЖМ (ТУ 1-809-1038-96) мөлшері бар және түйіршікті технологияға бағдарланған – ұнтақтық металлургияның (RS/PM) кейінгі операцияларымен жылдам қатаюы. 01417 маркалы ыстыққа төзімді алюминий қорытпасы 250 °С дейін температура кезінде ұзақ жұмыс істейтін сым дайындауға арналған және қазіргі кезде одан мыс сымдардың орнына авиалайнерлердің бортсымын жасайды, осы кезде бұйымның салмағының 100 бастап 300 кг дейін төмендеуіне қол жеткізіледі. Мыс сыммен салыстырғанда меншікті электр өткізгіштігі бойынша салмақтан ұтысы 30 % дейін құрайды [8].

Соңғы жылдары басқа бағыт белсенді дамып келеді: цирконий қоспасымен төмен қоспаланған сым алюминий қорытпаларын жасау [9-10]. Осы қорытпалар жоғары вольтты ЭБЖ сымдарында пайдаланылатын сымдар дайындау үшін жеткілікті түрде айтарлықтай қолданыс тапты, оларды 300 °С дейін қыздыруға болады. Термиялық төзімді сымдарды әзірлеумен айналысатын шетелдік компаниялар арасында төмендегілерді бөліп алған жөн: 3М (АҚШ), Lumpi-Berndorf (Австрия), J-Power Systems (Жапония) және т.б. Осы сымдарда ақ Al-Zr қорытпадан жасалған сым пайдаланылады, оның өндірісі кейбір патенттерде жартылай келтірілген арнайы технологияны талап етеді, мысалы [11, 12]. Ресейде осындай қорытпалар қазіргі кезде жоқ болғандықтан, отандық аналогтарының болмауы шетелдік өндірушілерге берілген өнімге жоғары бағаны айтуға мүмкіндік береді, олар берілген сымдардың нақты құнынан 4-5 есе артық.

«МИСиС» ҒЗТУ «Кирскабель» ААҚ тапсырысы бойынша цирконий қоспасымен (оның жұмыстық атауы АЦр1Е), одан сым алудың толық технологиялық циклімен қоса қорытпа әзірленді. Әзірлеме алдында беріктіктің, электр кедергісінің және термиялық төзімділіктің берілген кешенін олардың құрылымында Al₃Zr (L1₂) фазасының нанобөлшектерінің қалыптасуы есебінен қамтамасыз ететін цирконий қоспасымен төмен қоспаланған сым алюминий қорытпаларын алу үшін қорыту, құю және деформациялық-термиялық өңдеу технологияларының негіздерін жасау жүрді [13-15].

«КУМЗ» ААҚ-да АЦр1Е қорытпасынан тәжірибелік-өнеркәсіптік сынамау жүргізу үшін 100 мм құйма кесектер құйылды [16]. Одан әрі «Кирскабель» ААҚ-да осы құйма кесектерден – созбасым (9,5 мм), ал одан сым (3,4 мм) алынды. АЦр1Е қорытпасы сымынан АСТ 240/39 сымдарының тәжірибелік партиясы әзірленді, олар МЕМСТ 839-80 талаптарына сәйкестікке БЭҒЗИ-да стандарттық сынақтан табысты өтті.

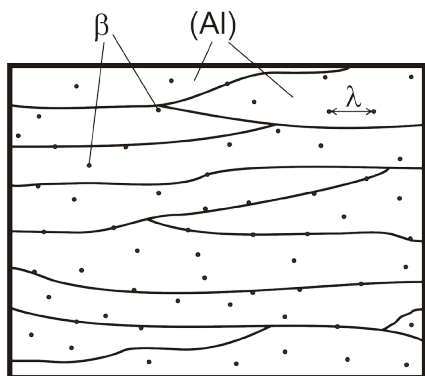
Екі типтегі: цирконий (АЦр1Е) және СЖМ (01417) қосындысымен термиялық төзімді қорытпалардың сипаттамаларын алдын ала салыстыру біріншісінің пайдасына тиесілі болады. Осы бастапқы қорытындыны негіздеу осы мақаланы жазудың басты себебі ретінде қызмет етті, оның негізгі мақсаты термиялық төзімді сымдарды алуға қатысты Al-Zr және Al-P3M жүйелері қорытпаларына салыстырмалы талдау жүргізуден тұрады. Осы талдауға пайдалану сипаттамалары мен технологиялықлығын салыстыру ғана емес, сондай-ақ осы екі жүйе қасиеттерін жақсарту әлеуетін бағалау енеді (яғни екі ғылыми бағыттың соншалық перспективалығын салыстыру).

1. Алюминий негізінде термиялық төзімді сым қорытпаларын конструкциялаудың металтану принциптері

Жалпы жағдайда беріктенуге ықпал ететін факторлар электр кедергісінің артуына алып келетіні белгілі [17]. Нақ сондықтан беріктігі жеткілікті электр сымдарының қорытпаларын жасау соншалық қарапайым емес мәселе болып табылады. Техникалық алюминийге қатысты айтарлықтай беріктендіруге шегендеу есебінен қол жеткізіледі, бұл салыстырмалы түрде шағын ұлғаюымен σ_b және $\sigma_{0.2}$ қатынасы күйдірілген күймен салыстырғанда жақсарады) қатар жүреді. Алайда техникалық алюминийді деформациялық беріктендірудің барлық ресурстары іс жүзінде сарқылған. Осы кезде осындай беріктендірудің термиялық осалдығы өте төмен.

Термиялық төзімді сым қорытпаларды жасаудың әмбебап принципі алуан түрлі технологиялық тәсілдер есебінен (термомеханикалық өңдеу, іштей тотығу, механикалық қоспалау және т.б.) металл матрицаға дисперсті бөлшектерді (қыздыруға төзімді) енгізуді болжайды. Көптеген жағдайларда бұл төмен қоспаланған қорытпалар. Жеке алғанда, электртехникалық

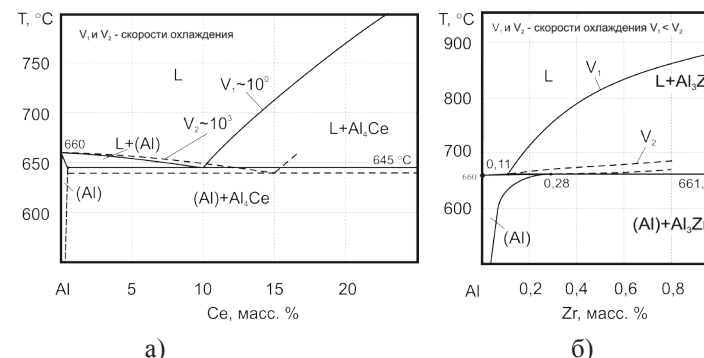
өнеркәсіпте Zr және Ce аз қоспалары бар мыс қорытпалар кең қолданыс тапты [18]. Осылайша, 1-суретте сұлбалы түрде бейнеленген термиялық төзімді алюминий қорытпаларының оңтайлы құрылымы келесі талаптарға жауап беруі тиіс: 1) қоспалауыш элементтері мен қоспалардың минимум мөлшері бар алюминийдің қатты ерітіндісінің (одан әрі (Al)) талшықты түйіршіктерінің (кристалданбаған) болуы; 2) (Al)-да β термиялық тұрақты фазаның бірқалыпты таралған бөлшектерінің (мүмкіндігінше нанобөлшектердің) болуы. Осы (λ) бөлшектер арасындағы қашықтық Орован моделіне сәйкес қорытпа беріктігін анықтайды. Осыған орай олардың термиялық төзімділігі кристалданбаған құрылымды және осыған орай, қыздырудан кейін деформациялық беріктенуді сақтауы керек.



Сурет 1 – Термиялық төзімді өткізгіш алюминий қорытпасының (сымның) оңтайлы құрылымының сұлбасы

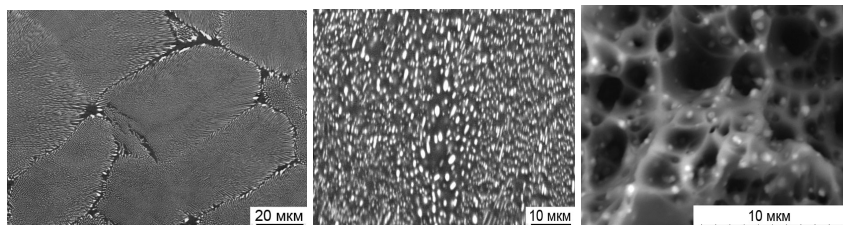
Al–PЗМ және Al–Zr жүйелерінің қорытпаларына қатысты 1-суретте көрсетілгенге жуық құрылымды жүзеге асыру үшін сәйкес күй диаграммаларына жүгінген жөн.

Al–Ce (бұл басқа СЖМ көпшілігіне, оның ішінде мишметалға таралады) диаграммасында церийдің (Al)-да өте төмен ерігіштігі кезінде эвтектикалық құрылысы болады (2 а-сурет). [19] деректері бойынша $L \rightarrow (Al) + Al_4Ce$ эвтектикалық реакциясының анағұрлым ақиқат параметрлері 9,8 % Ce және 645 °C құрайды. Кристалдану жылдамдығының (V_c) артуына қарай (Al)-да Ce максимум ерігіштігі болмашы өзгереді, бірақ эвтектиканың дисперсиялануы және эвтектикалық нүктенің церийдің көп мөлшері жағына ығысуы жүреді. [6] деректері бойынша $V_c = 10^3$ K/c үшін эвтектикалық концентрация 15 % Ce жуық құрайды, бұл 2а-суретте пунктирмен бейнеленген.



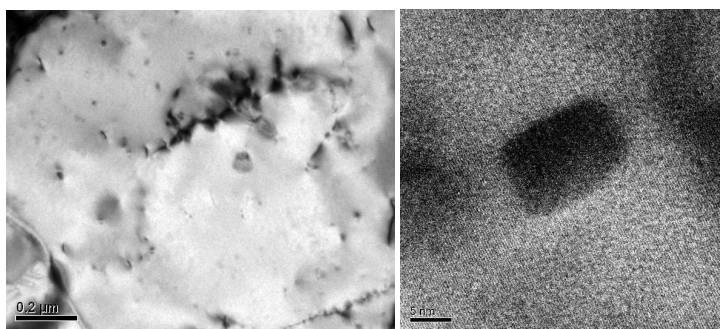
Сурет 2 – Al–Ce (а) және Al–Zr (б) диаграммалары және жедел қатаюы кезінде олардың трансформациясы [6]

Қыздыру процесінде Al_4Ce фазасының эвтектикалық бөлшектерінің сфералануы жүреді, осы кезде глобулярлық бөлшектері бар құрылым алынуы мүмкін сфералану температурасы ($T_{сф}$) эвтектиканың дисперстілігіне, ал осыған орай V_c тәуелді, V_c артуына қарай $T_{сф}$ мәні төмендейді. ($V_c \sim 10$ K/c) графиттік қалыпқа құю арқылы алынған, өлшемдері 15x30x180 мм құйма кесекте Al–9,8 % қорытпасының Ce құрылымы 3-суретте көрсетілген. Құйылған күйде эвтектикалық колониядан (Al)+ Al_4Ce тұрады, онда интерметаллидтің дендриттік тармақтарының орташа өлшемі ол $\sim 0,5$ мкм құрайды (3а-сурет). 500–600 °C кезінде сфероидтаушы күйдіруден кейін Al_4Ce бөлшектерінің құрамы 0,5–1 мкм (температураға байланысты) құрайды, бұл 3б-суретте көрсетілген. Соңғыларының глобулярлық морфологиясы тіпті айтарлықтай деформациядан кейін (90 % астам) болмашы өзгереді. (RS/PM) түйіршіктерінен алынған 01417 қорытпаның сымында интерметаллидті бөлшектердің өлшемі айтарлықтай кем, бұл 3в-суретте көрсетілген фрактограммдан көрінеді.



а) б) в)
 Сурет 3 – Al-9,8%Ce (а,б) және 01470(Al~7%Mn) (в) қорытпаларда Al₄Ce(СЖМ) фазаның қосындысы, СЭМ: а, б) құйма кесек; в) сым (сынык); а) құйылған күй, б) 600 °С кезінде күйдіру, 3 сағат, в) 300 °С кезінде күйдіру, 3 сағат

Бұрын цирконий мөлшері жоғары алюминий қорытпаларын жасау ұзақ уақыт бойы тек тым жылдам кристалдану технологиясына (RS/PM) қатысты ғана қарастырылды [6]. Алайда осы әдіспен алынған жартылай фабрикаттардың жоғары құнына байланысты осындай материалдар (мысалы 01419) айтарлықтай қолданыс таппады. [13-15] авторлардың еңбектерінде RS/PM технологиясының баламасы ретінде 0,6-0,7 % Zr дейін мөлшері болатын құймалар мен қорытпа құйма кесектерін алу үшін дәстүрлі құю технологияларын пайдалану ұсынылды. Бұл жағдайда деформацияланған жартылай фабрикаттардың жақсартылған пайдалану қасиеттері көлемдік үлесі 0,5–1 айн. % және орташа өлшемі 5-10 нм Al₃Zr фазасының нанобөлшектерімен (атап айтқанда метатұрақты модификациямен L12) анықталады (4-сурет).

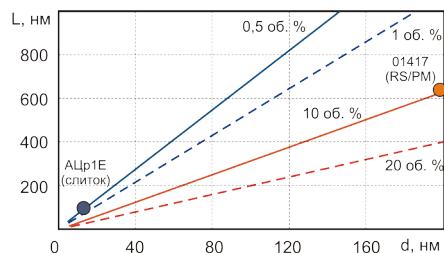


а) б)
 Сурет 4 – Al-0,64%Zr (сым, 300 °С кезінде күйдіру, 500 сағат) қорытпасында Al₃Zr фазасының екіншілік бөлінуі, ПЭМ

Цирконий қоспасы бар қорытпалар дайындау балқыту мен құюдың жоғары температураларын талап етеді, бұл осы элемент концентрациясының артуына қарай ликвидус температурасының күрт көтерілуімен сипатталатын Al-Zr күй диаграммасының өзгешелігіне байланысты (2б-сурет). Кристалдану процесінде барлық цирконий қатты алюминий ерітіндісінің (одан әрі (Al)) құрамына енуі тиіс болғандықтан, Al-Zr қорытпалары үшін маркалы қорытпаларымен салыстырғанда құйылған дайындаманы әзірлеудің басқа технологиясы талап етіледі. Технологияның екінші маңызды ерекшелігі цирконийдің Al₃Zr фазасының нанобөлшектері түрінде асқын қаныққан (Al)-ден бөлінуі болып табылады, бұған деформациялық-термиялық өңдеу арқылы қол жеткізіледі. Осы өңдеу режимін оңтайландыру 1-суретте сұлбалы түрде бейнеленген түріне максимум жуық оңтайлы құрылымын (минимум мәндері λ және $C_{Zr-(Al)}$) жүзеге асыруға мүмкіндік береді. СЖМ бар қорытпаларда (Al) төмен қоспаланғыштығы сәйкес фазалық диаграммалардың, жеке алғанда Al-Ce құрылысымен қамтамасыз етіледі (2а-сурет). Ал λ мәнін минимумдау айтарлықтай қиындыққа кездеседі, олар RS/PM технологиясы үшін де игерілмейтін болып көрінеді. Төменде айтылғанның негіздемесі беріледі.

λ шамасы (β 1-суретте) екінші фазаның көлемді бөлігіне (QV) (1-суретте β) және оның өлшеміне (d) тәуелді, бұл графиктік түрде 5-суретте келтірілген есептік тәуелділіктерде бейнеленген. Al-СЖМ (яғни 01417 типті) қорытпаларында құйма кесек технологиясы үшін QV максимум мәні 12,5 айн. % жуық құрайды, бұл эвтектикалық нүктеге жауап береді (~10 масс. % СЖМ). Бұл жағдайда $d=0,5$ мкм кезінде λ есептік шамасы шамамен 1,6 мкм құрайды, бұл эксперименттік деректермен үйлеседі (3б-сурет). Бұл – мәні бойынша құйма кесектер шегі. RS/PM технологиясына ауысқан кезде QV мәні ~19,5 айн.% (~15 масс. % СЖМ) дейін артуы, ал d мәні ~200 нм дейін төмендеуі мүмкін (3в-сурет). Бұл λ бөлшек аралық қашықтықтың ~400 нм дейін азаюына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Осы мәнді түйіршікті технологияның шегі деп санауға болады.

Құйма кесек технологиясы бойынша алынған Al-Zr қорытпалар үшін QV максимум мәні 1 айн. % аспайды (яғни СЖМ бар қорытпалардан гөрі аздап кіші), алайда Al₃Zr бөлшектерінің нақты қол жеткізілетін өлшемі 10 нм жуық құрайды (4-сурет). 5-суреттен көріп отырғандай, $Q_v=0,5$ айн. % (бұл AlCr1E қорытпасына жауап береді) кездің өзінде λ есептік мәні ~100 нм құрайды. Бұл СЖМ-мен салыстырғанда цирконий қосындысының айтарлықтай үлкен тиімділігі туралы куәландырады.

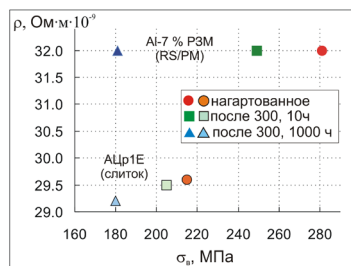


Сурет 5 – Бөлшек аралық (L) қашықтықтың QV түрлі мәндері кезінде бөлшектер диаметріне b (d) есептік тәуелділігі (1-суретті қараңыз)

2. Al–MM және Al–ZR жүйелері қорытпасының электркедергісін, беріктігін және термиялық төзімділігін салыстырмалы талдау

Қолдағы деректерді талдау, Al–Zr және Al–Ce қорытпаларында цирконий мен церий концентрациясының сәйкес артуына қарай жалпы жағдайда меншікті электркедергісінің (ρ) де, сондай-ақ беріктік қасиеттерінің де артуы байқалады. Өткізгіш қорытпалар үшін тиімді критерий ретінде ρ және σ_b мәндері арасындағы қатынас қызмет етеді. 0,1 бастап 0,7 % дейін Zr мөлшері бар және құйма кесектерден және RS/PM технологиясы бойынша әзірленген және 3 бастап 15 % дейін Ce мөлшері болатын Al–Ce қорытпаларынан алынған Al–Zr қорытпаларының сымын қарастырдық [6].

6-суретте Al–Ce және Al–Zr жүйелері үшін σ_b және ρ арасында қатынасты салыстыру нәтижелері келтірілген. Олар бірдей беріктік кезінде (300 °C кезінде күйдіргеннен кейін) цирконийі бар қорытпалар аз электр кедергіге ие болатынын көрсетеді.



Сурет 6 – Меншікті электр кедергісі (ρ) және Al–Ce ([6] деректері бойынша) және Al–Zr (авторлардың эксперименттік деректері бойынша) (σ_b) созу кезіндегі уақытша кедергі арасындағы байланыс

Егер СЖМ бар қорытпалардың жоғары тығыздығын (2,7 г/см³ қарсы 2,9) және RS/PM технологиясының қымбаттығын назарға алатын болсақ, онда цирконийі бар қорытпалардың басымдығы жеткілікті түрде сенімді көрінеді. Бұны 1-кестеде келтірілген деректер анағұрлым толық бейнелейді, онда 01417 қорытпаларының сипаттамалары салыстырылады.

Кесте 1 – 01417 және АЦр1Е қорытпалары сымының механикалық және электрлік қасиеттерін салыстыру

Қорытпа	Күйдіру	σ_b , МПа	d, %	ρ , Ом·м·10 ⁻⁹
01417*	Н	281	2,3	32,8
	300 °C	181	7,2	32,0
АЦр1Е**	Н	215	2,5	29,6
	300 °C	180	>5	29,2

* [6] деректері бойынша, ** авторлардың эксперименттік деректері

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Al–P3M және Al–Zr жүйелері қорытпаларының термиялық төзімді сымдар алуға қатысты салыстырмалы талдау жүргізілді. Теориялық түрде, 0,3 масс. % мөлшердегі цирконий, 15 масс.% мөлшердегі СЖМ қарағанда анағұрлым қолайлы құрылым алуға мүмкіндік береді. Бұл, ең алдымен, кристалданғыштық тегіндегі Al₄Ce бөлшектерімен салыстырғанда Al₃Zr дисперсоидтардың айтарлықтай кіші өлшемдерімен байланысты.

2. Al–Zr және Al–P3M жүйелері базасында АЦр1Е және 01417 қорытпаларының пайдалану сипаттамаларын (электркедергі, беріктік, термиялық төзімділік), технологиялылығын және үнемділігін салыстыру біріншісінің басымдығы туралы сәйкес куәландырады.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник/ Под ред. Ф. И. Квасова, И. Н. Фридляндера. – М. : Металлургия, 1984.
- 2 Алюминий. Свойства и физическое металловедение: Справочник / Под ред. Дж. Хэтча. – М. : Металлургия, 1989.
- 3 ГОСТ 11069-2001. Алюминий первичный. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002 г.
- 4 ГОСТ 13843-78. Катанка алюминиевая. – Издательство стандартов, 1985.
- 5 ГОСТ 20967-75. Катанка из алюминиевого сплава. – Издательство стандартов, 1975.

6 **Добаткин, В. И., Елагин, В. И., Федоров, В. М.** Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы. – М. : ВИЛС, 1995. – 341 с.

7 **Добаткин, В. И., Федоров, В. М., Бондарев, Б. И. и др.** Гранулируемые алюминиевые сплавы с высоким содержанием переходных металлов. – Технология легких сплавов – № 3. – 2004. – С. 22–29.

8 **Матвеев, Ю. В., Гаврилова, В. П., Баранов, В. В.** «Легкие проводниковые материалы для авиапродов». Кабели и провода. – 2006. – № 5 (300). – С. 22-23

9 Алюминиевый композитный усиленный провод – новое изобретение для высоковольтных воздушных ЛЭП. – Энергоэксперт. – №3. – 2007. – С. 60–62.

10 **Uliasz, P., Knuch, T., Mamala, A., Smyrak, B.** «Investigation in Properties' Design of Heat Resistant AlZrSc Alloy Wires Assigned for Electrical Application» in «Aluminium Alloys: Their Physical and Mechanical Properties», Ed. J.Hirsch, B.Scrotzki and G.Gottstein, DCM, 2008, P. 248-255 (Proc. ICAA11, Germany Aachen, 22-26.09.08).

11 United States Patent 4402763 (publication 09/06/1983)

12 EU Patent EP 0781811A1 (publ. 06.08.1997).

13 **Belov, N. A., Alabin, A. N., Eskin, D. G., and Istomin-Kastrovskiy, V. V.** «Optimization of Hardening of Al–Zr–Sc Casting Alloys». – Journal of Material Science, 2006. – 41. – p. 5890-5899.

14 **Белов, Н. А., Алабин, А. Н., Истомин-Кастровский, В. В. и Степанова, Е. Г.** «Влияние отжига на структуру и механические свойства холоднокатаных листов Al-Zr сплавов». – Изв.вузов. – Цв.металлургия, 2006. – № 2. – С. 60-65.

15 **Белов, Н. А., Алабин, А. Н., Прохоров, А. Ю.** «Влияние добавки циркония на прочность и электросопротивление холоднокатаных алюминиевых листов. – Изв.вузов. – Цв.металлургия, 2009. – № 4. – С. 42-47.

16 **Прохоров, А. Ю., Белов, Н. А., Алабин, А. Н.** «Особенности технологии плавки и литья слитков проводниковых алюминий-циркониевых сплавов в промышленных условиях», – Литейщик России. – 2010. № 4. – С. 30-34.

17 **Новиков, И. И., Строганов, Г. Б., Новиков, А. И.** Металловедение, термообработка и рентгенография. – М. : МИСиС, 1994. – 480 с.

18 **Осинцев, О. Е., Федоров, В. Н.** Медь и медные сплавы. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005.

19 **Belov, N. A., Khvan, A. V.** «The ternary Al-Ce-Cu phase diagram in the Al-rich corner». Acta Materilia, 2007. – vol.55. – p. 5473-5482.

Материал 04.05.16 баспаға түсті.

E. P. Tazhibay, E. A. Iskakov, A. A. Magaz, A. M. Dostayeva

Сравнительный анализ легирующих добавок применительно к изготовлению термостойких проводов на основе алюминия

Карагандинский государственный
технический университет, г. Караганда.
Материал поступил в редакцию 04.05.16.

E. R. Tazhibay, E. A. Iskakov, A. A. Magaz, A. M. Dostayeva

Comparative analysis of dopants applied to the manufacture of heat-resistant aluminum-based wiring

Karaganda State Technical University, Karaganda.
Material received on 04.05.16.

В работе проведен сравнительный анализ термостойких алюминиевых сплавов на основе систем Al–РЗМ (в области до 15 % РЗМ) и Al–Zr (в области до 0,6 % Zr). Проанализированы механические свойства и удельное электрическое сопротивление термостойких алюминиевых сплавов типа 01417 и АЦр1Е. Показано, наилучшим сочетанием термостойкости и проводимости обладает сплав на основе системы Al-Zr.

The comparative analysis of thermally stable aluminum alloys is given based on Al-REM systems (in the region of 15 % REM) and Al-Zr (up in 0,6 % Zr). There are analyzed the mechanical properties and electrical resistivity of the heat-resistant alloys such as aluminum and 01,417 ATsr1E. There is shown that the best combination of heat resistance and conductivity is Al-Zr system -based alloy.

А. С. Хисматуллин¹, Д. С. Хасанов²

¹к.ф.-м.н., доцент, кафедра «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салават; ст. научн. сотр. ГАНУ «Институт прикладных исследований Республики Башкортостан», Россия; ²студент, гр. БАТп-14-21, филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» г. Салават, Россия
e-mail: ¹hism5az@mail.ru; ²dauren.khasanov.96@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПРОМЫШЛЕННЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ С ЭЛЕГАЗОВЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Настоящая статья посвящена интенсификации процесса теплообмена, который заключается в том, что теплосъем с нагревающегося масла в трансформаторе осуществляется за счёт циркуляции барботируемого элегаза, перекачиваемого компрессором. После всплытия пузырьков элегаз проходит через систему фильтров, удерживающих частицы масла, захваченные всплывающими пузырьками и далее, пройдя систему очистки и охлаждения, повторяет рабочий цикл. В работе рассмотрены явления теплопереноса, инициированные акустическим полем в среде. Показано что значения коэффициентов переноса возрастают даже в случае распространения плоской волны в однородной среде. Полученное спектральное представление позволяет построить выражение коэффициентов трансциляторного переноса, обусловленного колебаниями для различных волновых пакетов.

Результаты исследований показывают, что при пропускании элегазовых пузырьков через трансформаторное масло происходит возрастание коэффициента эффективной теплопроводности. Предлагаемый метод интенсификации системы охлаждения за счёт увеличения коэффициента переноса тепла в масле позволяет повысить эффективности системы охлаждения силовых масляных трансформаторов.

Ключевые слова: трансциляторный перенос тепла, монохроматическая волна, число Маха, акустические поля.

В работе исследуются процессы теплопереноса в промышленных силовых трансформаторах, основанных на барботировании

трансформаторного масла пузырьками элегаза. Большое значение коэффициента теплового расширения элегаза способствует образованию конвективных потоков, перераспределяющих неоднородности теплового поля в объеме трансформаторного масла [4-6]. В среде с конвективными ячейками возникает сложное поле скоростей, которое приводит к возрастанию эффективного коэффициента теплопроводности. При определенных условиях величина эффективного коэффициента теплопроводности может на несколько порядков превышать молекулярный коэффициент теплопроводности, поэтому исследование механизма переноса тепла в объеме трансформаторного масла с конвективными ячейками имеет важное практическое значение для повышения эффективности системы охлаждения силовых трансформаторов [7-10].

В работе также рассмотрены явления теплопереноса, инициированные акустическим полем в среде. Магнитопровод трансформатора является основным и важным источником шума. Шум сердечника зависит от магнитных свойств материала, из которого он изготовлен, и от плотности магнитного потока. Магнитные силы, формируемые в сердечнике, вызывают вибрацию и шум. Шумы, вызываемые сердечником и обмотками, находятся, в основном, в полосе частот 100-600 Hz. Частотный диапазон шума, вызванного вентиляторами охлаждения, как правило, имеет более широкий диапазон частот. Факторами, влияющими на общий шум вентиляторов, являются: скорость вращения, структура лопастей, количество вентиляторов, и расположение радиаторов.

Экспериментально установлено [1], что при воздействии волновых полей в сложных средах возрастают значения коэффициентов переноса. Физический механизм этого явления, достаточно сложен, и до настоящего времени нет полной теории этого явления. Одним из механизмов, объясняющих явление возрастания коэффициентов переноса, является так называемый трансциляторный [2, 3, 4]. Суть этого механизма проявляется в увеличении потока за счет относительного смещения участков среды, вызываемого волновыми полями. Трансциляторный теплоперенос относится к диффузионно-конвективным процессам, возникающим при колебательном относительном перемещении участков или частей среды [5]. Теория явления трансциляторного переноса приводит к уравнениям в частных производных второго порядка с переменными коэффициентами.

Рассмотрим простейший случай однородной среды, находящейся под воздействием плоской монохроматической или немонахроматической волны. Уравнение, описывающее эволюцию температуры T в однородной изотропной среде, представляется в виде

$$a \Delta T - \frac{\partial T}{\partial t} = U(\vec{r}, t) \nabla T. \quad (1)$$

Оно учитывает диффузионные и конвективные процессы, возникающие за счет смещений в волновой зоне. Здесь a – диффузный коэффициент, $U(\vec{r}, t)$ – поле скоростей в волновой зоне.

Получение аналитических решений уравнения (1) для волновых полей затруднено вследствие сложной зависимости скорости колебаний от координат и времени [1]. Решим задачу методом редукции к эквивалентному интегральному уравнению, не требующий построения точного аналитического решения. Для простоты предположим, что волна является поперечной и распространяется вдоль оси Ox со скоростью v , а отличной от нуля является координата скорости колебаний среды $U_y(x, t)$. Начальное температурное предполагается заданным $T(x, y, t)|_{t=0} = -\Gamma_y y$. Считаем также, что составляющая градиента скалярного поля Γ_y является постоянной. Построение математической модели при этих предположениях сводится к отысканию решений вида

$$T(x, y, z, t) = T'(x, t) - \Gamma_y y. \quad (2)$$

Рассмотрим случай монохроматической волны с частотой ω . Для плоской упругой поперечной волны, распространяющейся вдоль оси Ox , с плоскостью колебаний, параллельной оси Oy , имеем

$$U_y(x, t) = A \omega \sin(\omega t - kx), \quad U_z = 0, \quad k = \frac{\omega}{v}. \quad (3)$$

Для соответствующего уравнения относительно $T'(x, t)$

$$a \frac{\partial^2 T'}{\partial x^2} - \frac{\partial T'}{\partial t} = U_y \frac{\partial T'}{\partial y} - U_y \Gamma_y = q(x, y, t), \quad (4)$$

где $q(x, y, t)$ – эквивалентный источник тепла, с однородным начальным условием

$$T'|_{t=0} = 0 \quad (5)$$

Эквивалентное исходной задаче интегро-дифференциальное уравнение с учетом того, что $\Gamma_y \gg \partial T' / \partial y$ и используя формулы Эйлера, получим:

$$T' = \frac{A \omega \Gamma_y}{2i} \left[e^{-ikx} \frac{e^{i\omega t} - e^{-k^2 a t}}{i\omega + k^2 a} - e^{ikx} \frac{e^{-i\omega t} - e^{-k^2 a t}}{-i\omega + k^2 a} \right]. \quad (6)$$

Для достаточно больших времен $t \gg 1/(k^2 a)$ из (6) получим

$$T' = \frac{A \omega \Gamma_y}{k^4 a^2 + \omega^2} \left[k^2 a \sin(\omega t - kx) - \omega \cos(\omega t - kx) \right]. \quad (7)$$

Поток вдоль оси Oy складывается из диффузионного и конвективного:

$$j_y = -a \frac{\partial T}{\partial y} + c U_y T. \quad (8)$$

Осредненная конвективная составляющая потока по периоду колебаний для потока имеет следующий вид:

$$\langle j_y^{\text{conv.}} \rangle = \frac{c \rho A^2 \omega^2 k^2 a \Gamma_y}{2(k^4 a^2 + \omega^2)}. \quad (9)$$

Соответствующий коэффициент переноса

$$\lambda_{\text{tr.}} = \frac{\langle j_y^{\text{conv.}} \rangle}{\Gamma_y} = \frac{c \rho A^2 \omega^2 k^2 a}{2(k^4 a^2 + \omega^2)} = \frac{c \rho A^2 v^2}{2a \left(1 + \frac{v^4}{a^2 \omega^2} \right)} \quad (10)$$

называется трансциляторным. Трансциляторный перенос возникает за счет диффузного обмена между слоями среды, участвующими в колебательном относительном перемещении. Он отличается от чисто конвективного, поскольку регулярного переноса среды в этом случае нет.

Разложим (10) в степенной ряд и, удерживая два члена, получим

$$\lambda_{\text{tr.}} = \frac{c \rho A^2 v^2}{2a \left(1 + \frac{v^4}{a^2 \omega^2} \right)} = \frac{c \rho a}{2} M^2 \left(1 - \frac{a^2 M^2}{A^2 v^2} \right),$$

где $M = A \omega / v$ – число Маха.

Рассмотрим далее случай плоской немонахроматической волны, бегущей вдоль оси Oy . Представив соответствующую координату скорости смещения среды в виде интеграла Фурье, получим выражение для нахождения коэффициента трансциляторного переноса в волновой зоне.

$$\lambda_{\text{tr.}} = \frac{c \rho}{2 \pi i \tau} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_y(\omega') U_y(\omega) e^{i(\omega + \omega') \left(t - \frac{x}{v} \right)} \cdot \frac{(e^{i(\omega + \omega') \tau} - 1)}{\left(a \frac{\omega^2}{v^2} + i \omega \right) (\omega + \omega')} d\omega' d\omega. \quad (11)$$

Практическое значение этой формулы заключается в возможности вычисления коэффициента переноса, если известны спектральные компоненты поля скорости в волновой зоне. Для произвольных периодических колебаний представим поле скорости в виде экспоненциального ряда:

$$U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\sum_{m=-\infty}^{\infty} C_m e^{im\omega_0 t'} \right) \cdot e^{-i\omega t'} dt' = \sqrt{2\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \{ C_m \delta(\omega - m\omega_0) + C_{-m} \delta(\omega + m\omega_0) \} = \sqrt{2\pi} \sum_{m=1}^{\infty} U_m(\omega). \quad (12)$$

Для заданных коэффициентов Фурье смещений A_m и B_m в волновом поле имеем следующее выражение для КТП

$$\lambda_{tr} = \frac{c\rho v^2}{2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(A_m^2 + B_m^2)}{a^2 \left(1 + \frac{v^4}{m^2 \omega_0^2}\right)}. \quad (13)$$

Полученное выражение свидетельствует об аддитивности КТП относительно гармоник Фурье. Для монохроматических колебаний $A_1 = A$ и $A_m = 0$ при $m \neq 1$, $B_m = 0$ из (13) получим выражение, совпадающее с (10). Следовательно это позволяет констатировать, что коэффициент трансцилляторного переноса пропорционален квадрату амплитуды колебаний. При увеличении частоты ω_0 коэффициент монотонно возрастает, стремясь к предельному значению $\lambda_{tr.max} = c\rho A^2 v^2 / (2a)$.

ВЫВОДЫ

Таким образом, при распространении поперечной акустической волны в среде возникает дополнительный перенос тепла (трансцилляторный). Коэффициент теплопроводности получает максимальное приращение в плоскости колебаний. Изотропная среда в акустическом поле приобретает анизотропию по отношению к коэффициентам переноса. Трансцилляторный перенос обуславливает дополнительную необратимость процессов переноса.

Результаты работы обеспечивают новые возможности для повышения эффективности системы охлаждения силовых трансформаторов за счёт барботирования масла элегазом, что значительно повышает коэффициент эффективной теплопроводности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Баширов, М. Г., Хисматуллин, А. С., Хуснутдинова, И. Г.** Применение барботажа в системе охлаждения силовых трансформаторов / Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2014. – № 3. – С. 29-33

2 **Баширов, М. Г., Хисматуллин, А. С., Салиева, Л. М., Зайнакова, И. Ф.** Совершенствование хроматографического метода оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов / Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10 – 2. – С. 233-237.

3 **Баширов, М. Г., Хисматуллин, А. С., Камалов, А. Р.** Исследование изменения теплопроводности масла при барботаже в системе охлаждения силовых трансформаторов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 338.

4 **Муллакаев, М. С.** Ультразвуковая интенсификация технологических процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов. Дис. докт. техн. наук. Московский государственный университет инженерной экологии. – М., 2011. – 391 с.

5 **Нигматулин, Р. И.** Трансцилляторный перенос тепла в жидкости с газовыми пузырьками / Р. И. Нигматулин, А. И. Филиппов, А. С. Хисматуллин // Теплофизика и аэромеханика. – 2012. – Т. 19. – № 5. – С. 595-612.

6 **Хисматуллин, А. С., Гареев, И. М.** Исследование переноса интегрального параметра в жидкости с газовыми пузырьками // Экологические системы и приборы. – 2015. – № 7. – С. 38-42.

7 **Хисматуллин, А. С.** Расчет теплового поля в силовых масляных трансформаторах с элегазовым охлаждением // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2015. – № 2. – С. 23-30.

8 **Хисматуллин, А. С., Камалов, А. Р.** Повышение эффективности системы охлаждения мощных силовых трансформаторов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6-2. – С. 316-319.

9 **Филиппов, А. И., Минлибаев, М. Р., Хисматуллин, А. С.** Установка для исследования коэффициента температуропроводности в жидкости // Новые промышленные технологии. – 2010. – № 2. – С. 62-63.

10 **Хисматуллин, А. С.** Теоретическое и экспериментальное исследование теплопереноса в жидкости с газовыми пузырьками: дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. – Уфа, 2010. – С. 14-16.

Материал поступил в редакцию 02.06.16.

А. С. Хисматуллин¹, Д. С. Хасанов²

Элегаз салқындатқышты өнеркәсіптік күштік трансформаторларда жылу алмасуды зерттеу

¹ФМББМ ЖКБ «Уфа мемлекеттік техникалық мұнай университеті», Салават к.,

МАҒМ «Башқұртстан Республикасының қолданбалы зерттеулер университеті», Ресей;

²ФМББМ ЖКБ «Уфа мемлекеттік техникалық мұнай университеті», Салават к., Ресей.

Материал 02.06.16 баспаға түсті.

Investigation of heat transfer in industrial power transformers with gas cooling

¹FSBEI HPE branch of «State technical Oil university of Ufa», Salavat;
SASI «Applied researches institute of the
Republic of Bashkortostan», Russia.

²FSBEI HPE branch of «State technical Oil institute of Ufa», Salavat.

Material received on 02.06.16.

Бұл мақала трансформатордағы қыздырмалы майдан жылуудың алынуы компрессормен айдалатын көпіршікті араластырылатын элегаз циркуляциясы негізінде жүзеге асатын жылу алмасу үдерісін қарқындату мәселесіне арналған. Көпіршіктердің қалқып бетке шығуынан кейін, элегаз жоғарыға көтерілетін көпіршіктермен ұсталынып қалатын май бөлшектерін сүзу жүйесінен, содан кейін тазарту мен суыту жүйелерінен өтіп, жұмыс атқарымы кезеңін қайталайды. Ортадағы акустикалық өрістен пайда болатын жылу тасымалы құбылысы да осы жұмыста қарастырылған. Тасымалдау шамасының коэффициентінің мәні біртекті ортадағы жазық толқынның таралуы орын алған кезде де өсетіні көрсетілген. Пайда болған спектрлік көрініс әртүрлі толқын жиынтығының толқуынан туындайтын трансциляторлы тасымал шамаларын өрнектеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері бойынша, элегаз көпіршіктерін трансформатор майы арқылы өткізу кезінде жылу алмасудың тиімділік шамасының өсуі орын алады. Майдағы жылу тасымалдау шамасын өсіру есебінен суыту жүйесін қарқындатудың ұсынылатын бұл тәсілі маймен жұмыс істейтін қуат трансформаторларының суыту жүйесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

This article is devoted to the intensification of the process of heat exchange, which means that the heat removal from heating oil in the transformer is carried out at the expense of the circulation of bubbling sulfur hexafluoride, pumped by the compressor. After surfacing of bubbles the insulating gas passes through the filter, holding the oil particles trapped by rising bubbles and then passing cleaning and cooling system, then the cycle repeats. The paper discusses the phenomenon of heat transfer initiated by the acoustic field in the medium. It is shown that the values of the transfer coefficients increase even in the case of the plane wave propagation in the homogeneous medium. The resulting spectral representation allows

us to construct an expression transsilyation transfer coefficients due to vibrations of different wave packets.

Studies show that by passing electric gas bubbles through the transformer oil there is an increase of the effective thermal conductivity. The proposed method of intensifying the cooling system by increasing the coefficient of heat transfer oil can improve the efficiency of cooling systems of power oil transformers.

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 **10-12 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. **УДК** по таблицам универсальной десятичной классификации;
 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, место работы** (учебы), **город** (страна для зарубежных авторов);

4. E-mail;

5. **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*);

6. **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 – 30-150 слов, прописными буквами, нежирным шрифтом 12 кегль, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

7. **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*формируются 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*);

8. **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 признания 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 самих данных и позволит дать свою интерпретацию результатов (*не более 1 страницы*).

9. **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).

10. **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

11. **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.

Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге**.

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 HSBKCKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861
---	---

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

УДК 316:314.3

А. Б. Есимова

к.п.н., доцент, Международный Казахско-Турецкий университет имени Х. А. Яссави, г. Туркестан

e-mail: ad-ad_n@mail.ru

СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящей статье автор дает анализ отличительных особенностей репродуктивного поведения женщины сквозь призму семейно-родственных связей.

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

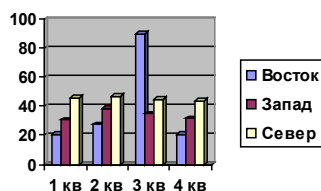


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

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

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.

A. B. Yessimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

A. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.

Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық-туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықты айырмашылықтарын талдайды.

In the given article the author analyzes distinctions of reproductive behavior of married women of Kazakhstan through the prism of the kinship networks.

Теруге 21.06.2016 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2016 ж. қол қойылды.
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 10,7 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Р. Омарова, З. С. Исакова
Тапсырыс № 2862

Сдано в набор 21.06.2016 г. Подписано в печать 30.06.2016 г.
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 10,7 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Р. Омарова, З. С. Исакова
Заказ № 2862

«КЕРЕКУ» баспасынан басылып шығарылған
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
e-mail: kereku@psu.kz