

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

№ 1 (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*
 Клецель 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*

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

Абдикулова З. Қ., Шырынбекова Б. Ж. Кентау трансформатор зауыты қосалқы станциясының электрлік сұлбасын есептік зерттеу	9
Азимов А. М., Жантасов К. Т., Абиев Р. Ш., Шаймерденова Г. С. Коаксиалды цилиндрлік пішіндегі мембраналарда қазандыққа арналған суды тиімді дайындауды модельдеу	19
Анарбаев А. Е., Касимов А. О. Simulink ортада ethernet протокол негізінде жергілікті есептеуіш желінің функционалдауына аса қысқа кедергілер әсерін модельдеу	29
Анарбаев А. Е., Касимов А. О. Ethernet локалды жүйе фрагментіне аса қысқа электромагниттік импульс әсер етудің тәжірибелік зерттеуі	37
Байматаева Ш. М. Жылу электр станцияларының операторларын оқыту процесін басқарудағы шешім қабылдау жүйесі	46
Бупежанова А. Б., Зингер М. А., Клементьева К. В., Захаров И. В. Электрэнергетикалық қондырғыларда жоғары температуралық асқын өткізгіштікті қолдану	51
Динмуханбетова А. Ж., Дюсенова Ж. Ж. Сым өндірісіндегі инновациялар	61
Достияров А. М., Тютеебаева Г. М., Умышев Д. Р. Газ турбиналардың жану камерасында қолданылатын үшбұрышты тұрақтандырғыштарды зерттеу нәтижелері	68
Евсеев О. Н. Эксперимент нәтижелерін өңдеу және кіші квадраттар әдісін пайдалана отырып бақылау оңтайлы параметрлерін іздеу	80
Жапаргазинова К. Х., Ахметкалиева Р. А. Жылу алмастырушы аппаратураның жұмыс бетін химиялық тазарту есебінен өндірістік тиімділігін арттыру	90
Злотников И. И., Пискунов С. В., Захаров И. В. Алюминий бетіндегі ықшам доғалық оксидтеу әдісімен алынатын керамикалық жабындардың құрылысы мен қасиетіне қоспалық иондардың әсері	99
Қажыкенова А. Ш., Әлібиев Д. Б., Қауымбек И. С., Макашева А. М., Испулов Н. А. Ретсізденген бөлшектер тұжырымы негізінде сұйық индийдің тұтқырлықтың кластер-ассоциативті үлгісі	108
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Жанат Ж., Айтжанов С. Е., Жақып Қ. Б., Файзулла Д. Ф., Джансаринов Қ. Е., Оспанова Ж. М. Электрмен қамтамасыздандыру жүйелерінің параметрлерін оңтайландыру үшін энергия тұтынуын жүйелік реттеу	115

СОДЕРЖАНИЕ

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Жанат Ж., Айтжанов С. Е., Жақып Қ. Б., Файзулла Д. Ф., Джансаринов Қ. Е., Оспанова Ж. М.
 Электр жабдықтау жүйелеріне жаңғыртылатын қуат көзімен бірге ендік-импульстік керілеуіш модуляциясының тәжірибелік зерттеулері121

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Жанат Ж., Айтжанов С. Е., Жақып Қ. Б., Файзулла Д. Ф., Джансаринов Қ. Е., Оспанова Ж. М.
 Жаңғыртылатын энергия көздері бар электржабдықтау жүйесіне ендік-импульстік модуляциясы бар инвертордың коммутация кезеңдеріндегі тоқтың, қуаттың статикалық жоғалтуларының орташа және әрекет ететін шамасын бағалау128

Кайдар А. Б., Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Антонцев А. В.
 Ендік импульсты модуляция технологиясының негізінде өзгермелі жүк жиілікпен көп деңгейлі инверторлардың талдауы136

Канаев А. Т., Ықсан Ж. М., Богомолов А. В.
 Доңғалақты болаттағы плазмалы шынықтыру кезіндегі градиентті-қабаттылықты құрылымын қалыптастыру152

Рахимжанова П. Т.
 Радиобайланыс саласында қолданылатын күштік трансформатор жұмысын есептік сараптау161

Смайлов Б. М., Кадірбаева А. А., Қошқарбаева Ш. Т.
 Уран ерітінділерін өндіретін ұңғымаларды күкірт және фтор қышқылдарының қоспасымен тазалау169

Суенова М. Р., Ықсан Ж. М.
 Металл өнімдерінің сапасын бағалау әдісі176

Украинец В. Н., Гирнис С. Р., Кошанова Қ. М.
 Стационарлық көлік жүктемесінің қозғалысы кезіндегі терең салынатын динамикалық тоннельдердің математикалық моделі181

Хацевский В. Ф., Хацевский К. В., Антонов А. И.
 Электр қуатының сапа көрсеткіштерінің өлшеулерінің эксперименталді деректерін өңдеу әдістемесі193

Хацевский В. Ф., Хацевский К. В.
 Сұйықтықты өңдеу және қыздыруға арналған заманауи индукциялық қондырғылар200

Шукенова Ф. Ә., Абдикулова З. Қ.
 3D max программалық комплексті пайдалану арқылы күштік трансформаторларды есептеу және жинау204

Айнағұлова А. С., Темірғалиева А. Е.
 Басқару нышаны – жылу құрылғысы орнатылған ғимараттың математикалық жобасын құру213

Авторларға арналған ережелер.....218

Абдикулова З. К., Шырынбекова Б. Ж.
 Расчетное исследование электрической схемы подстанции Кентауского трансформаторного завода9

Азимов А. М., Жантасов К. Т., Абиев Р. Ш., Шаймерденова Г. С.
 Моделирование эффективной водоподготовки для котельной в мембранах коаксиальной цилиндрической формы19

Анарбаев А. Е., Касимов А. О.
 Моделирование влияния сверхкоротких помех на функционирование локальной вычислительной сети на базе протокола Ethernet в среде Simulink29

Анарбаев А. Е., Касимов А. О.
 Экспериментальное исследование воздействия СКИ ЭМИ на фрагмент локальной сети Ethernet37

Байматаева Ш. М.
 Система принятия решений при управлении процессом обучения операторов тепловых электрических станций46

Бупежанова А. Б., Зингер М. А., Клементьева К. В., Захаров И. В.
 Применение высокотемпературной сверхпроводимости в электроэнергетических устройствах51

Динмуханбетова А. Ж., Дюсенова Ж. Ж.
 Инновации в производстве проводов61

Достияров А. М., Тютеебаева Г. М., Умышев Д. Р.
 Результаты исследования угольных стабилизаторов для камер сгорания ГТД68

Евсеев О. Н.
 Обработка результатов эксперимента и поиск оптимальных параметров управления с помощью метода наименьших квадратов80

Жапаргазинова К. Х., Ахметкалиева Р. А.
 Увеличение эффективности работы теплообменной аппаратуры за счет химической очистки рабочей поверхности90

Злотников И. И., Пискунов С. В., Захаров И. В.
 Влияние примесных ионов на структуру и свойства керамических покрытий получаемых методом микродугового оксидирования на поверхности алюминия99

Кажикенова А. Ш., Алибиев Д. Б., Кауымбек И. С., Макашева А. М., Испулов Н. А.
 Кластерно-ассоциатная модель вязкости жидкого индия на основе концепции хаотизированных частиц108

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Жанат Ж., Айтжанов С. Е., Жақып К. Б., Файзулла Д. Ф., Джансаринов К. Е., Оспанова Ж. М.
 Системное регулирование энергопотребления для оптимизации параметров систем электроснабжения115

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Жанат Ж., Айтжанов С. Е., Жакып К. Б., Файзулла Д. Ф., Джансаринов К. Е., Оспанова Ж. М.
 Экспериментальные исследования инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии121

Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Жанат Ж., Айтжанов С. Е., Жакып К. Б., Файзулла Д. Ф., Джансаринов К. Е., Оспанова Ж. М.
 Оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии128

Кайдар А. Б., Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Антонцев А. В.
 Анализ многоуровневых инверторов с изменяемой несущей частотой на базе технологии шим136

Канаев А. Т., Ыксан Ж. М., Богомоллов А. В.
 Формирование градиентно-слоистых структур в колёсной стали при плазменной закалке152

Рахимжанова П. Т.
 Расчет и анализ работы силовых трансформаторов применяемых в радиосвязи161

Смайлов Б. М., Кадирбаева А. А., Кошкарбаева Ш. Т.
 Очистка уранодобывающих скважин с помощью смешанного раствора серной и фтороводородной кислоты169

Суенова М. Р., Ыксан Ж. М.
 Методика оценки качества металлопродукции176

Украинец В. Н., Гирнис С. Р., Кошанова К. М.
 Математическая модель динамики тоннелей глубокого заложения при действии стационарных транспортных нагрузок181

Хацевский В. Ф., Хацевский К. В., Антонов А. И.
 Методика обработки экспериментальных данных измерений показателей качества электрической энергии193

Хацевский В. Ф., Хацевский К. В.
 Современные индукционные установки для нагрева и обработки жидкостей200

Шукенова Г. А., Абдикулова З. К.
 Расчет и сборка силовых трансформаторов с использованием программного комплекса 3D MAX204

Айнагулова А. С., Темиргалиева А. Е.
 Построение математической модели объекта управления – помещения с отопительным прибором213

Правила для авторов218

CONTENT

Abdikulova Z. K., Shirinbekova B. G.
 Computational studies of Kentau transformer plant's substation electrical circuits9

Azimov A. M., Zhantasov K. T., Abiyev R. Sh., Shaimerdenova G. S.
 Modeling of effective treatment of water for the boiler station in the membrane of coaxial cylindrical form19

Anarbayev A. E., Kasimov A. O.
 Modeling of the ultra-short pulse impact on the Ethernet local area networks in the Simulink environment29

Anarbayev A. E., Kasimov A. O.
 Experimental research of the ultra-short electromagnetic pulse impact on the fragment of Ethernet local area network37

Baimatayeva Sh. M.
 Decision making system used at heating power station operator training process control46

Bupezhanova A., Zinger M., Klementyeva K., Zakharov I.
 Application of high temperature superconductivity in electric power devices51

Dinmukhanbetova A. Zh., Djussenova Zh. Zh.
 Innovation in cables production61

Dostiyarov A. M., Tyutebayeva G. M., Umyshev D. R.
 Results of experimental investigation of V-gutter flameholder for gas turbine combustion chambers68

Evseenko O. N.
 Processing of the experiment results and the search for optimal control parameters using the least squares method80

Zhapargazinova K. Kh., Akhmetkaliyeva R. A.
 Enhancement of heat exchanger apparatus efficiency by means of chemical cleaning of a working surface90

Zlotnikov I. I., Piskunov S. V., Zakharov I. V.
 Influence of impurity ions on structure and properties of ceramic surfaces prepared by micro arc oxidation on the surface of aluminum99

Kazhikenova A. Sh., Alibiev D. B., Kauymbek I. S., Makasheva A. M., Ispulov N. A.
 Cluster-associate models of liquid indium viscosity based on the concept of randomized particles108

Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P., Zhanat Z., Aitzhanov S. E., Zhakyp K. B., Faizulla D. F., Dzhanarinov K. E., Ospanova Z. M.
 System energy management to optimize the parameters of power supply systems115

Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P., Zhanat Z., Aitzhanov S. E., Zhakyp K. B., Faizulla D. F., Dzhansarinov K. E., Ospanova Z. M.	
Pulse-width modulation inverter's experimental studies in power supply system with renewable energy sources	121
Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P., Zhanat Z., Aitzhanov S. E., Zhakyp K. B., Faizulla D. F., Dzhansarinov K. E., Ospanova Z. M.	
The average and RMS values of the current, power of static loss for the levels of inverter switching in power supply systems with renewable energy sources ..	128
Kaidar A. B., Kislov A. P., Shapkenov B. K., Markovsky V. P., Antontsev A. V.	
Analysis of multilevel inverters using variable carrier frequency based on PWM techniques	136
Kanayev A. T., Yksan Zh. M., Bogomolov A. V.	
Formation of gradient-layered structures in steel wheel in plasma quenching	152
Rakhimzhanova P. T.	
A calculation and analysis of power transformers operation applied in radio contact	161
Smaylov B. M., Kadirbaeva A. A., Koshkarbaeva Sh. T.	
Cleaning uranium producing wells with mixed solution of sulfuric acid and hydrofluoric acid	169
Suenova M., Yksan Zh.	
Method of assessment of metal products quality	176
Ukrainets V. N., Girnis S. R., Koshanova K. M.	
Mathematical model of dynamics of the deep embedding tunnels under the influence of stationary traffic loads	181
Khatsevskiy V., Khatsevskiy K., Antonov A.	
Methods of analysis of experimental data of electric energy quality measurements	193
Khatsevskiy V., Khatsevskiy K.	
Modern induction installations for heating and processing of liquids	200
Shukenova G. A., Abdikulova Z. K.	
Calculation and installation of power transformers using 3D MAX software package	204
Ainagulova A. S., Temirgaliyeva A. E.	
Constructing a mathematical model of the control object – the room with the heater	213
Rules for authors	218

З. Қ. Абдикулова¹, Б. Ж. Шырынбекова²

¹техн.ғ.к., доцент; ²аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.

e-mail: ¹beysenkul66_66@mail.ru; ²Azagipa@mail.ru

КЕНТАУ ТРАНСФОРМАТОР ЗАУЫТЫ ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТРЛІК СҰЛБАСЫН ЕСЕПТІК ЗЕРТТЕУ

Қосалқы станциядағы электр қосылысының схемасы электрмен сенімді жабдықтауды, автоматтандыруды және үнемділікті, желідегі режимдік ерекшеліктерді қамтамасыз етуі тиіс. Сондықтан, бұл мақалада Кентау трансформатор зауыты қосалқы станциясының электрлік сұлбасына есептеулер жүргізілді, негізгі электр қондырғылары таңдалды. Қосалқы станцияның электр қондырғыларын таңдау мен тексеру үшін үшфазалық қысқа тұйықталу тогы анықталды, қысқа тұйықталу токтарын есептеу сұлбасы құрастырылды.

Кентау трансформатор зауытының қосалқы станциясы тарату құрылғысының схемасын өзгертіп, біршама сенімді, икемді, автоматтандыруға ыңғайлы, әрі жинақтаушы шиналардың бір жүйесінде апат болғанда электрмен жабдықтауда үзіліс болдырмайтын көпірлік схемаға ауыстыру ұсынылды.

Кілтті сөздер: электр қосалқы станциясы, электрлік сұлба, қысқа тұйықталу, күштік трансформатор, ашық тарату құрылғысы.

КІРІСПЕ

Электр энергиясы өте ыңғайлы және тиімді энергия көзі болып табылады. Оны алудың жеңілділігі мен тиімділігі және басқа энергия көздеріне түрлендіруі, алыс қашықтыққа тасымалдау мүмкіндіктері оның кең таралуына негіз болады. Электрмен жабдықтау жүйесінде электр энергиясын таратуға және түрлендіруге арналған электрлік қондырғылар – қосалқы станциялар басты роль атқарады. Олар электр жүйесінің жауапты элементі болып саналады.

Сондықтан, бұл қосалқы станцияларды жобалағанда және салғанда, оларды пайдаланатын орындардың қалыпты режимде жұмыс істеуін ғана емес, апат жағдайда ажыратылғанда да (мысалы, қоректендіруші желі немесе жұмыс істейтін трансформаторлардың біреуі істен шықса) сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуі тиіс.

Өлшеуіш құралдарды коректендіру үшін ток трансформаторлары қолданылады. Ток трансформаторлары (ТПОЛ-35-Р/0,5-600/5, ТВТ-110-1000/5) жинақталған шиналарда орналасқан. Олардан өлшеуіштік құралдардың кернеу орауыштары, окшаулама бақылау құралдары, релелік қорғаныс құралдары коректенеді.

Үш орамды трансформаторларында тоқты барлық кернеулерде өлшейді. Жинақтаушы шинадағы кернеуді вольтметрмен өлшейді (үш фаза арасында 110 кВ болғанда). Кернеуі 110 кВ және одан төмен трансформаторлардың активтік қуатын өлшейді [3].

Қысқа тұйықталу тоғын шектеуге, іргесі бетоннан жасалған РБСДГ-10-2500-0,14 типті реакторлар қолданылады.

Қосалқы станциядағы агрегаттарды қалыпты және апаттық режимде қосу және ажырату үшін (ВМПЭ-10-3200/20) типті аз көлемді майлы ажыратқыш қолданылады. Оның номиналдық тоғы 3200 А, айыратын тоғы 20 кА.

Кентау трансформатор зауытында жылдан жылға өндіріс көлемінің қарқынды өсуіне, жаңа өнімдер шығаруына, жаңа технологияларды енгізуіне байланысты, жұмыс істеп тұрған қосалқы станциялар электрмен жабдықтаудың тиісті сенімділігін қамтамасыз ете алмайды, сондықтан зауыттың қосалқы станциясының электрлік схемасын есептеу және жетілдіру қажет.

Кентау трансформатор зауыты қосалқы станциясының тарату құрылғылары трансформаторлармен блокты схема бойынша қосылған. Қосалқы станциядағы трансформатор мен осы трансформаторды коректендіретін электр беріліс желісі бір-бірімен үздіксіз тізбек құрайды. Желі-трансформатор блогына ток тұтынатын орындардағы электр қондырғылары қосылады немесе басқа қосалқы станциядан резервті қорек алады, себебі бір желі істен шыққан жағдайда, екі трансформатор қалған желімен жұмыс істей алмайды.

Бұл схемада ажыратқыштар, оперативті ажыратқыштар саны аз, ал оперативті айырғыштар мүлдем жоқ, сондықтан мұның өзі оны автоматтандыруды қамтамасыз етеді.

Схема біршама сенімді, икемді, автоматтандыруға ыңғайлы, әрі жинақтаушы шиналардың бір жүйесінде апат болғанда немесе жөндеу кезінде электрмен жабдықтауда үзіліс болмайды. Желі-трансформатор схемасының желідегі барлық кернеуде кеңінен қолданылуы, қарапайымдылығы, желі мен трансформатор жұмыстарының сенімділігі – блокты тұтастай қорғауға, әрі қондырғыны едәуір арзандатуға мүмкіндік береді.

Бұл схеманың негізгі кемшілігіне көрнектілігінің біршама төмендігін жатқызуға болады, өйткені электр беріліс жүйесінде әр түрлі қуат ағыны болуы мүмкін, ал мұның өзі бақылау және қорғау құрылғыларды таңдауды қиындата түседі.

Желі-трансформатор блогында трансформатор немесе желі істен шықса, немесе жөндеу кезінде барлық блок жұмыс істей алмайды, сондықтан тарату құрылғысының схемасын өзгертіп, көпірлік схема бойынша қосу ұсынылып отыр.

Қосалқы станцияның электр қондырғыларын таңдау мен тексеру үшін қысқа тұйықталу тоғы (қ.т.т) есептелінді, оны есептеу келесі жолдармен анықталды [4]:

1. Электр қосылысының басты сұлбасы бойынша есептеу сұлбасы, содан кейін электр алмастыру сұлбасы қарастырылды;
2. Алмастыру сұлбасын түрлендіру жолымен біз оны жай түріне келтірдік, ол жағдайда Э.Қ.К. белгілі мәнімен сипатталатын қорек көзі, бір қорытынды кедергі арқылы қ.т. нүктесімен байланыста болуы керек;
3. Қорытынды Э.Қ.К. мен қорытынды кедергінің шамасы бойынша қ.т. тоғының периодикалық құрамының бастапқы мәні, содан соң қ.т. тоғының аперидикалық құрамасы және соққы тоқ анықталды. Сонымен қатар, электр жабдықтардың электродинамикалық төзімділігі анықталды.

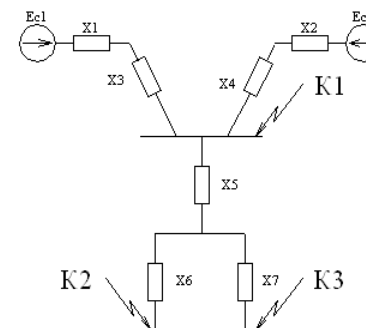
Электр қондырғының есептеу сұлбасы жұмыстың қалыпты режимін көрсету керек. Сұлбада қ.т. нүктелерін, аппараттар мен өткізгіштердің неғұрлым ауыр жұмыс режимінде, қ.т. тоғының ағыны болатындай жағдайда таңдайды.

2-ші суретте қысқа тұйықталу тоқтарын есептеудің сұлбасы көрсетілген.

Қ.т. тоқтарын есептеу кезіндегі алмастыру процесін жеңілдету үшін шамалардың барлығы базистік шарттарға келтірілді. Базистік қуаты кез-келген шамамен беріледі, ондық еселікті $S_b=100$ МВА немесе 1000 МВА қолданған ыңғайлы. Базистік кернеу, қ.т. болжанатын орташа қолданыстық кернеу қадамымен (110; 37; 66 кВ) анықталды.

Базистік қуат: $S_b=1000$ МВА

Базистік кернеу: $U_{61} = 110$ кВ; $U_{62} = 37$ кВ; $U_{63} = 6,6$ кВ.



Сурет 2 – Қысқа тұйықталу тоқтарын есептеудің сұлбасы

Базистік тоқ келесі формуламен анықталады:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}$$

$$I_{61} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 5.02 \text{ кА}$$

$$I_{62} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15.60 \text{ кА}$$

$$I_{63} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6.6} = 91.64 \text{ кА}$$

осыған сүйене отырып жеңіл түрлендіру жолымен базистік шарттағы салыстырмалы бірліктегі қ.т. тізбегінің барлық элементтерінің кедергілерін төмендегі формула бойынша анықтаймыз.

$$X'_{*C} = X_{*C} \cdot \frac{S_6}{S_C}$$

Қосалқы станцияларының тарату құрылғыларында шиналар жиі қолданылады. Себебі шиналар монтаж жасағанда немесе оларды пайдаланғанда үнемді әрі сенімді.

Шиналар қалыпты режим шарты бойынша таңдалады, сонымен қатар термиялық және электродинамикалық орнықтылыққа тексеріледі де кернеуі 20 кВ-қа дейін ЖТҚ-дағы жинақтаушы шиналары алюминийлік парақтарынан жасалады.

Жұмыс режимі бойынша шина таңдау шарты

$$I_p \geq I_{ж.ж.ум.}$$

$I_{ж.ж.ум.}$ станция мен қосалқы станция жинақталған шиналары үшін қалыпты емес пайдалану режимдеріндегі максималды мүмкін болатын тоғы.

Шиналардағы термиялық орнықтылыққа тексеру кабельге сәйкес, яғни ең аз термиялық орнықтылықты кима анықтайды [5]:

$$S_{мин} = \sqrt{\frac{B_x}{A_{бер.к.} - A_x}}$$

Егер шина жүктемесі жылыту шарты бойынша берілгеннен төмен болса, яғни $I_n \leq I_{бер.}$ онда шиналау қалыпты режимде жылынады және 70 °С төмен болады.

Шиналар мен өткізгіштерді электродинамикалық орнықтылыққа тексеру электродинамикалық күшейту және тоқ өткізгіш құрылысының механикалық есептеуінен анықталады.

Механикалық есептеу кезінде әрбір фазаның шинасы, тіректе босап жатқан тең таралған жүктеменің әсерінен көп аралық балкаға сәйкес. Бұл жағдайда жүктеме үшін майысу моменті:

$$M = \frac{f \cdot l^2}{10}$$

мұнда l – шина бойындағы оқшаулаушы арасындағы арақашықтық, м;
 f – шина ұзындық бірлігіне келетін күш, Н/м.

Үш фазалы қ.т. кезінде ортаңғы фазаның ұзындық бірлігіне келетін күш:

$$f_{макс} = 1,76 \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot 10^{-7}, \text{ Н/м}$$

мұнда, a – шектес фазалар арасындағы арақашықтық, м;

i_y – қ.т. соққы тоғы, А.

Майысу моменті әсерінен шина ішінде пайда болатын кернеуді $\delta_{бер.}$ берілетін мәнімен салыстыру қажет

$$\delta_{есеп.} = \frac{M}{W} = \frac{f \cdot l^2}{10W} \leq \delta_{бер.}$$

мұнда, $\delta_{бер.}$ – шина кедергісінің моменті, м³.

Әртүрлі материал үшін $\delta_{бер.}$ мәні: МТ мыс – 140, АТ – 70 алюминий, болат – 160.

Кедергі моменті шина формасы өлшеміне және өзара орналасуына байланысты. Майысу күш сызығы қырына әсер еткендегі тікбұрышты кималы шина үшін

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

ал ендік жағына, онда

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Шеңберлі құбырлы кима үшін

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \approx 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}$$

W кедергі моментінен басқа негізгі есептеу шартын қарастыру қажет:

$$\delta_{есеп.} \leq \delta_{бер.}$$

Ол үшін l тіреуіш оқшаулағыш арасындағы шиналар мен өткін арақашықтарын таңдау қажет.

6, 10, 20 кВ кернеулі қондырғыларда ТҚ әуедегі электр беріктік шарттары бойынша жарықтағы фазалар арасы 100, 130, 200 мм сәйкес болу керек.

Тіреуіш окшаулатқыштар арасындағы өткінді 1,5÷2 м ауқымында және ТҚ ұяшығының қысқа қадамында таңдайды.

Солай да l өткін шамасынан тіреуіш шина окшауламалардың механикалық беріктігі байланысы; сондықтан окшауламаларды таңдау шиналарды таңдаумен бірге жүргізіледі. Фазааралық күштен шығатын тіреуіш окшаулағыштардың жүктеме шамасы:

$$F_{\max} = f_{\max} \cdot l$$

мына берілгеннен аспау керек:

$$F_{\max} \leq f_{\text{бер.}}$$

Есептеу кезінде тірек окшауламаларының берілетін жүктемені бұзылатын $0,6$ -дан қабылданады ($0,6 \cdot F_{\text{бұз.}}$)

Көп сызықты шиналарға, яғни пакетке 2 немесе 3 сызық кіргенде, ішкі пакет сызықтары және фазалар арасындағы электродинамикалық күштер пайда болады. Екі сызықты пакетті шина материалындағы толық кернеу, пакет пен фазалар сызықтарының өзара әсерлесуінен пайда болады:

$$\delta_{\text{есеп.}} = \delta_{\phi} + \delta_n$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада Кентау трансформатор зауытының қосалқы станциясы тарату құрылғысының блокты схемасын көпірлі схемаға ауыстыру ұсынылды, себебі бұл схемада ажыратқыштар, оперативті ажыратқыштар саны аз және желі-трансформатор блогында трансформатор немесе желі істен шықса, немесе жөндеу кезінде барлық блок жұмыс істей алмайды [6].

Сондықтан ұсынылып отырған көпірлік схема бір желі зақымданған кезде трансформаторды бөліп тастауға мүмкіндік береді.

Көпірлі схеманың артықшылығы: желідегі барлық кернеуде кеңінен қолданылуы, қарапайымдылығы, желі мен трансформатор жұмыстарының сенімділігі, үнемділігі, жұмыс жағдайының өзгеруіне байланысты схемалардың өзгеруіне ыңғайлығы, пайдалану қауіпсіздігі, экологиялық тазалығы.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Петрова, С. С.** Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. пособие. – Л. : ЛПИ, 1989. – 76 с.

2 **Рожкова, Л. Д., Козулин, В. С.** Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. –3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

3 Выбор главных схем и электрооборудования АЭС: Метод. указания / ЛПИ; Сост.: С. В. Кузнецов, А. К. Черновец, К. Г. Чижков, Ю. М. Шаргин. – Л., 1990.

4 **Леньков, Ю. А.** Расчет токов короткого замыкания, выбор коммутационных аппаратов и их уставок в электроустановках напряжением до 1000 В. – Павлодар. Изд-во : ПГУ, 2006. – 224 с.

5 **Леньков, Ю. А.** Специальные вопросы электростанций. Сборник лабораторных работ. – Павлодар : Изд-во ПГУ, 2006. – 132 с.

6 **Двоскин, Л. И.** Схемы и конструкции распределительных устройств. –3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат.

7 Правила устройства электроустановок. – Астана : Министерство энергетики и минеральных ресурсов РК, 2003. – 418 с.

8 **Дорошев, К. И.** Выключатели и измерительные трансформаторы в КРУ-6-220 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 152 с.

9 **Беляев, А. В.** Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.

10 **Фигурнов, Е. П.** Релейная защита. – М. : Желдориздат, 2002. – 720 с.

Материал 22.02.16. баспаға түсті.

З. Қ. Абдикулова, Б. Ж. Шырынбекова

Расчетное исследование электрической схемы подстанции Кентауского трансформаторного завода

Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан.

Материал поступил в редакцию 22.02.16.

Z. K. Abdikulova, B. G. Shirinbekova

Computational studies of Kentau transformer plant's substation electrical circuits

A. Yesevi International Kazakh-Turkish university, Turkestan.

Material received on 22.02.16.

Система электроснабжения предприятия должна обеспечивать бесперебойность и надежность электроснабжения как в нормальном, так и в аварийном режиме, надлежащее качество электроэнергии, экономичность производства, поэтому в статье сделан анализ режимов работы подстанции, исследована и рассчитана схема электрической сети подстанции Кентауского трансформаторного завода, рассчитаны электрические нагрузки завода, рассчитаны токи короткого замыкания и на основании результатов расчёта произведена проверка выбранного электрооборудования.

Предложены меры по реконструкции подстанции, с заменой блочной схемы распределительного устройства на схему соединения силового трансформатора с РУ шинным мостом.

Проработаны основные вопросы модернизации распределительного устройства подстанции, произведен расчет и выбор распределительных шинопроводов, для ошиновки распределительного устройства определено количество проводов с учетом экономической плотности тока.

Electric supply system in enterprises must provide electrical supply continuity and reliability both in normal and emergency regimes, also electro energy quality and production efficiency, so in this connection, in the article there have been analyzed the work regimes of substations, studied the electrical net scheme for Kentau Transformer Plant's substation, calculated the plant's loads and short circuit currents, and on the base of the calculated results carried out an inspection for the chosen equipment.

There have been offered the measurements on reconstruction of the substation by replacing the block scheme of switchgears to the scheme of power transformer connection with DD bus bridge.

Also, the main modernization problems of the substation switchgear have been worked out, and the calculation and selection of distributing bus bars for arranging switchgear have been done.

ЭОЖ 66.074

**А. М. Азимов¹, К. Т. Жантасов², Р. Ш. Абиев³,
Г. С. Шаймерденова⁴**

¹PhD докторант, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.; ²т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.; ³т.ғ.д., профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты (Техникалық университеті), Санкт-петербург қ.; ⁴т.ғ.к. Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік фармацевтика академиясы, Шымкент қ.

¹e-mail: azimov-78@mail.ru; ² k_zhantasov@mail.ru; ³rufat.abiev@gmail.com; ⁴gulzeinep.shaimerdenova@mail.ru

КОАКСИАЛДЫ ЦИЛИНДРЛІК ПІШІНДЕГІ МЕМБРАНАЛАРДА ҚАЗАНДЫҚҚА АРНАЛҒАН СУДЫ ТИІМДІ ДАЙЫНДАУДЫ МОДЕЛЬДЕУ

Жұмыста өндірістік және табиғи суларды тазалаудың мембраналық әдістермен тұзсыздандырудың келешегі қарастырылған, қоспаларды бөлудің, мембрананың жұмыс істеу уақытын жоғарылатудың тиімділігін көтеру мақсатында мембраналық элементтері бар мембраналық аппараттың конструкциясын дамыту зерттелген. Математикалық модель ұсынылған, берілген тапсырма Навье-Стокс теңдеуімен цилиндрлік координаталарда шығарылған.

Кілтті сөздер: ақаба сулар, тұзсыздандыру, мембраналық аппарат.

КІРІСПЕ

Соңғы жылдары бүкіл әлемдегі энергетикалық және шикізат мәселелерінің шиеленісуіне орай пайдалы әсерлерді жанамалай жоғарылату кезінде, соның ішінде су тазалау мен оны дайындауда энергетикалық және материалдық қорлар шығындарын төмендетуге деген қызығушылық артуда [1].

Мембраналық технологиялар органикалық немесе минералдық заттар ертінділерін бөлу, **тұзсыздандыру** мен концентрлеу қажеттігі туындайтын өнеркәсіптік көптеген салаларында іс жүзінде бастамалы болып табылады. Сумен жабдықтау көзі болып табылатын табиғи және өнеркәсіптік суларды тұзсыздандырудың тиімділігі жоғары үдерісін жүзеге асыру, сондай-ақ химия мен басқа да өнеркәсіп салаларындағы қоспаларды бөлу үшін мембраналық элементтері бар мембраналық аппарат конструкциясы жасалды.

Химия-технологиялық қондырғы сипаттамаларын жақсарту әдістерін екі класқа бөлуге болады: 1) формальды математикалық әдістер негізінде қазіргі аппараттарды, қондырғылар мен өндірістерді ыңғайластыру; 2) осы үдеріс үшін аппараттар мен олардың элементтерінің геометриялық пішіндерінің бейімделісін қамти отырып, ең тиімді физикалық әсерлерді іздестіру [2]. Жұмыста тыныстық аппараттар мысалында үдерістерді қарқындатудың жалпы қағидалары талқыланған. Энергия түзу тиімділігі тұрғысынан технологиялық үдерістердегі энергия шығындарын төмендету идеялары [3] жұмыстарда барынша бірізді түрде іске асырылған.

Жұмыста мазмұндалған түрлі технологиялық үдерістер үшін аппараттарда жүзеге асыру мысалдары: ағындық типтегі тыныстық аппаратты пайдалану кезінде ақаба суларды өңдеу уақытын қысқарту [4], ақаба суларды тазалау үшін жетілдірілген мембраналық аппарат пен жұқақабаттық тұндырғыштарды қолдану [5] және [6], тыныстық типтегі мембраналық аппараты [7], құйынды ағындық аппарат көмегімен суды вакуумдық дегазациялауды [8], қоюлатылған тұнбаны кезеңімен босату арқылы табиғи және өнеркәсіптік суларды тұзсыздандыру үшін тыныстық мембраналық аппаратты [9] пайдалану.

Үдерістердің өнеркәсіптік аппараттары келесі талаптарды қанағаттандырулары тиіс: аппараттың көлем бірлігінде мембраналардың үлкен жұмысшы бетіне ие болуы шарт; жинақтау мен жөндеу үшін қолжетімді болуы қажет. Осы аппараттарды конструкциялау кезінде жоғарғы қысымдағы аппарат жұмысымен себептендірілетін талаптарды да есепке алу қажет: механикалық беріктікті, герметикалықты және басқаларды қамтамасыз ету. Келтірілген талаптардың барлығын қанағаттандыратын аппаратты жасау мүмкін емес. Сондықтан әрбір нақты бөлу үдерісі үшін үдеріс жүрісінің ең тиімді шарттарын қамтамасыз ететіндей конструкциядағы аппаратты таңдау қажет.

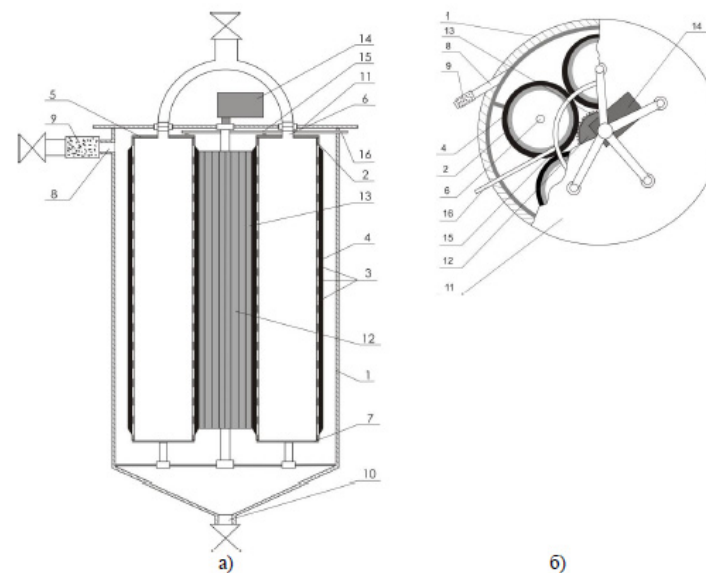
НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Талаптарға жауап беретін конструкциялардың бірі болып зерттеу міндеті ретінде аппарат конструкциясын оңайлату, қоспаны бөлу тиімділігін арттыру, мембраналардың жұмыс мерзімін ұлғайту алынған мембраналық аппарат табылады.

Мембраналық аппарат [10] құрамына түзілген тұрқыға тангенстік түрде орналасқан тазаланатын сұйықтық кіретін түтікшелері, тазаланған және тазаланбаған сұйықтарды шығару түтікшелері бар цилиндрлік тұрқы, тұрқынның ішкі қабырғаларына салыстырмалы түрде саңылаумен орналасқан сыртқы жартылайөткізгіш мембраналары мен дренаждық тұрқыны қамтитын түтіккі мембраналық модуль кіреді. Аппарат цилиндрлік білікше пішіндегі кеуекті материалдан жасалған және аппарат өсі бойымен айналу

мүмкіндігіне ие созылмалы элементпен қосымша түрде жабдықталып, мұндағы мембраналық модульдер өз өстері бойымен тігінен де, созылмалы элементке параллельді түрде де айнала алады.

Өнертабыс мәні келесі сызбамен түсіндіріледі, 1 суретте қақпағы кесілген мембраналық аппараттың жалпы және жоғарғы жағынан көріністері ұсынылған.



Сурет 1 – а) қақпағы кесілген мембраналық аппараттың жалпы және б) жоғарғы жағынан көрінісі

Мембраналық аппарат келесі түрде жұмыс істейді: мембраналық тазартуға жіберілетін сұйықтық тұрқыға 1 тангенстік түрде орналасқан ірілей тазалау сүзгісі 9 мен түтікшелер 8 арқылы өтеді. Сұйық орағытпалы қозғалысы туындап, біршама ірі бөлшектер ортадан тепкіш күш әсерінен периферияға лықсып, шөгеді де, мембраналар 4 өткізгіштігінің біршама ұзақ сақталуына жол ашады 4. Сұйық түтіккі мембраналық модульдің жартылай өткізгіш мембраналары арқылы өте отырып, механикалық қоспалардан тазаланып, дренаждық сақалулар 3 бойымен түтікшелі мембраналық модуль ішіне барып түсіп, тазаланған сұйықтық түтікшелер 6 арқылы тұтынушыға жіберіледі. Сүзу режиміндегі қондырғы жұмысы кезінде тазаланбаған сұйықтарды шығаруға арналған түтікшелер 10 жабық болады. Аппараттың жұмыс үдерісі кезінде мембраналар 4 бетінің ластануы орын алып, бұл түтікшелі-мембраналық модульдегі қысымның құлдырауына алып келеді.

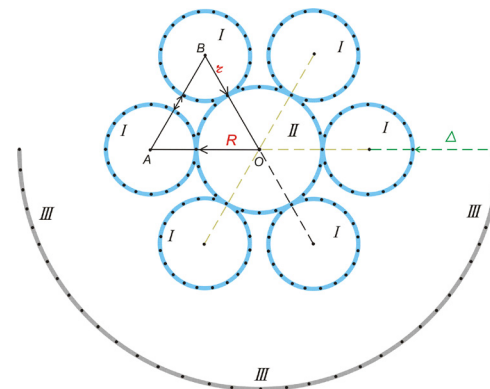
Қысым құлдырауы бекітілген мәнге жеткен кезде электр қозғалтқышы 14 көмегімен қабырғалы бетке 13 ие созылмалы білікшелік элемент 12 автоматты түрде қозғалысқа енеді.

Шайма сұйықтықты беруге арналған қондырғы 15 созылмалы элементтер жұмысымен бірмезгілде қосылады. Шайма сұйықтықты беруге арналған қондырғы 15 әрбір жартылай өткізгіш мембранасы 4 мен 12 қабырғалы беті 13 бар созылмалы білікшелі элемент 12 арқылы шайма сұйықтық ағындары өтетін саңылаулары бар түтіккі элемент түрінде болады. Шайма сұйықтық түтікшелер 16 арқылы өтеді. Қабырғалы беті 13 бар созылмалы білікшелік элемент 12 мембрана 4 бетімен жанаса отырып, кір-қоқысты іліп алып, ары қарай шайма сұйықтық ағынымен шайылып кетеді де, нәтижесінде мембраналар 4 жуылып, бұл кезде тазаланбаған сұйықтық түтікшелер 10 арқылы ағып кетеді. Жандану кезеңділігі мембрананың 4 тозуына жол бермейді. Қабырғалы беті 13 бар созылмалы білікшелік элемент 12 цилиндрлік білікше пішіндегі кеуекті материалдан жасалып, ол мембраналар бетін механикалық түрде тазалайды. Ұзақ (2,5-3 жылға дейінгі) пайдаланудан кейін ескі мембраналар 4 жаңаларымен алмастырылады.

Қабырғалы беті бар созылмалы элемент пен түтікшелі мембраналық модель беттерінің шеңберлік жылдамдықтарының қатынасы мембраналар жандануының тазалану дәрежесін 1,2-1,7 есе арттыруға мүмкіндік береді. Қабырғалы беті бар созылмалы элемент пен түтікшелі мембраналық модель беттерінің шеңберлік беттерінің 1,2 еседен төмен қатынасы кезінде мембраналар беттері тазалануының қажетті деңгейі қамтамасыз етілмейді, өйткені тұнба бетіндегі жанаспалы кернеу анағұрлым төмен болады. Қабырғалы беті бар созылмалы элемент пен түтікшелі мембраналық модель беттерінің шеңберлік беттерінің 1,7 еседен артық қатынасы кезінде мембраналар тозуы біршама жоғарылап, энергия шығыны артады. 1,2-1,7 аралықта орналасқан қабырғалы беті бар созылмалы элемент пен түтікшелі мембраналық модель беттерінің шеңберлік беттерінің қатынасы кезінде тұнбада оның тиімді түрде жойылуына және шайма сұйықтықпен кезекті түрде шайылуына алып келетін біршама жоғары жылжу керенулері туындайды.

Қабырғалы беті бар созылмалы білікшелік элементті, сонымен қатар шайма сұйықтықты беруге арналған қондырғыны пайдалану мембраналар тозуын төмендетуге мүмкіндік беріп, мембрана беттері мен кеуектерінің тазалану тиімділігін арттырады.

Суды мембраналық тазартуға арналған конструкцияның геометриялық сипаттамаларын қарастырайық: I-мембраналар, II-білікше, III-тұрқы.



Сурет 2 – Конструкцияның геометриялық сипаттамалары

Алты мембранасы бар қондырғыны таңдай және мембраналар орталарын бір-бірімен жалғай отырып, біз дұрыс алтыбұрышты аламыз. Жалпы формулаға сай:

$$R + r = \frac{a}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \quad (1)$$

Мұндағы: $a = |AB|$ – көпбұрыш бүйірлерінің ұзындығы, $n - n = 6$, $R + r = a$ кезіндегі бүйірлер саны. Егер $a = 2r + \delta$ болса, онда $S=R-\delta$ болады. Сонымен қатар, тұрқының радиусы $(R+2r+\Delta)$ және биіктігі H болатын цилиндр түрінде болатындығын да атап өтейік.

Енді әртүрлі, бірақ тұрақты бұрыштық жылдамдықтармен айналатын екі коаксиалды цилиндр арасындағы сұйық ағысын қарастырайық. Айталық r_1 және r_2 – ішкі және сыртқы цилиндрлер радиустары, ал ω_1 және ω_2 – олардың бұрыштық жылдамдықтары болсын.

Жалпы жағдайда, Навье-Стокс теңдеуі келесі түрге ие болшады:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho F + (\xi + \mu) \text{grad} \text{div}(v) - \text{grad} \rho + \mu \Delta v_1 \quad (2)$$

Мұндағы: F – көлемдік күш векторы, μ, ξ – динамикалық және көлемдік тұтқырлықтар коэффициенттері. (2) теңдеуге ажырағысыздық теңдеуін қосу қажет:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho v) = 0 \quad (3)$$

Бұл есепте бізге цилиндрлік координаттардағы Навье-Стокс теңдеуі қажет болады. Айталық r , φ және z координаттардың цилиндрлік жүйесінің сәйкесінше радиалдық, шеңберлік және өстік координаттары, ал, v_r, v_φ, v_z – осы координаттар бағыттарындағы жылдамдық құраушылары болсын. r , φ және z цилиндрлік координаттары келесі түзілімдік формулалар арқылы декарттық тікбұрышты координаттармен байланысқан:

$$\left. \begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \quad \varphi = \frac{x}{y} \\ x &= r \cos \varphi, \\ y &= r \sin \varphi, \\ z &= z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Сығылмайтын сұйықтық үшін келесі теңдеулерді аламыз:

$$\rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} - \frac{v_\varphi^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = K_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \varphi^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{v_r v_\varphi}{r} + v_z \frac{\partial v_\varphi}{\partial z} \right) = K_\varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} - \frac{v_\varphi}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \varphi} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = K_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

Қарастырылушы ағысты нүкте деп есептеп, айналма жылдамдықты u арқылы өрнектесек, онда полярлық координаттардағы Навье-Стокс теңдеулер жүйесінен тек алғашқы екеуі ғана қалып, олар келесі түрге ие болады:

$$\rho \frac{u^2}{r} = \frac{dp}{dr} \quad (9)$$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{d}{dr} \left(\frac{u}{r} \right) = 0 \quad (10)$$

Шектемелік шарттар келесілер болады:
 $r=r_1$ кезінде $u=r_1 \omega_1$, $r=r_2$ кезінде $u=r_2 \omega_2$

Берілген шектемелік шарттар кезінде (10) теңдеуін интегралдай отырып, келесіні аламыз:

$$u(r) = \frac{1}{r_2^2 - r_1^2} \left[r (\omega_2 r_2^2 - \omega_1 r_1^2) - \frac{r_1^2 r_2^2}{r} (\omega_2 - \omega_1) \right] \quad (11)$$

Радиалдық бағыттағы қысым таралуы (9) теңдеумен анықталады.

Енді $r_2 \rightarrow \infty$, $\omega_2 = 0$ жағдайы кезінде сұйықтықта айналатын бір цилиндр жағдайында (11) қатынас келесі түрге ие болады:

$$u = \frac{r_1^2}{r} \omega_1 \quad (12)$$

(9) және (12) теңдеулерін бірге шеше отырып, келесіні табамыз:

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{r_1^4 \omega_1^2}{r^3} \quad (13)$$

Бұл жерден, $p = \rho r_1^4 \omega_1^2 \int \frac{dr}{r^3} = \frac{\rho r_1^4 \omega_1^2}{2r^2} + C \quad (14)$

Мұндағы: C – интегралдау тұрақтысы.

Уақыт бірлігінде көлбек қима арқылы ағып өтетін сұйықтық мөлшері Хаген – Пуазейль формуласымен анықталады:

$$Q = \frac{\pi r_0^4 \Delta P}{8 \mu l} \quad (15)$$

Айналдырылған түрдегі мембрана $2\pi r$ және h бүйірлері бар тікбұрыш түрінде болады.

Кеуектер арқылы өтетін сұйықтық көлемі келесіні құрайды:

$$V' = N_2 \frac{\pi r_0^4 t}{16 l \mu} \rho g h \quad (16)$$

Кеуектер санын есепке ала отырып, бір мембрана үшін жалпы көлемді табамыз:

$$V(I) = N_1 V' = N_1 N_2 \frac{\pi r_0^4 t}{16 l \mu} \rho g h \quad (17)$$

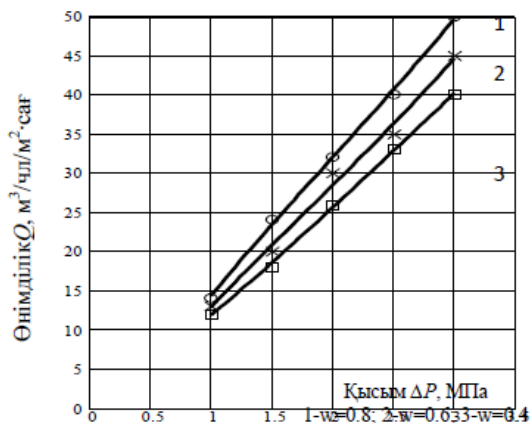
Мұндағы: ρ – сұйықтық тығыздығы, g – Жер бетіне жақын еркін түсу үдеуі ($9,81 \text{ м/с}^2$).

Бір мембрана үшін кеуектер арқылы уақыт бірлігінде ағып өтетін сұйықтық мөлшері келесіге тең:

$$Q(t) = N_1 N_2 \frac{\pi r_0^4 t}{16l\mu} \rho g h \quad (18)$$

Мембраналардың жандану үдерісі сұйық фазада орын алады. Мұнда мембраналар айналуының тек жандану барысында жүретіндігін атап өткен маңызды. Мембраналар айналуы кезінде сұйықтың шекаралық қабаты да қозғалысқа келеді. Үйкеліс салдарынан өстен g қашықтықтағы қабатта орналасқан сұйық бөлшектері үшін көлем бірлігіндегі ортадан тепкіш күш келесіге тең: gr_0^2 . Ортадан тепкіш күш әсерінен сұйықтық қабаты сыртқа лықсиды. Лықсыған сұйықтық орнына қайтадан мембранамен тұтылып, өз кезегінде сыртқа лықситын жаңа сұйықтық келеді. Осылайша сұйық араласуының жоғары дәрежесі мен конструкцияның шайылуы және мембраналар жандануы орын алады.

Білікшенің айналуы нәтижесінде мембранада (цилиндрде) орналасқан сұйықтық ортадан репкіш күш әсерінен мембрананың ішкі қабырғасына лықсып, бұл мембрана кеуектеріне қосымша қысым Р_{арт} тудырады. (14) формулаға сай, өз кезегінде сыртқы қабырғаларда сиреу орын алып, бұл жерде ластанған кеуектердің тазалануына алып келетін кері сипаттағы қысым құлдырауы орын алады.



Сурет 3 – Су ағынының жылдамдығы мен қысымына кондырғы өнімділігінің тәуелділігі

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері бойынша қабырғалы беті бар созылмалы білікшелік элементті, сонымен қатар шайма сұйықтықты беруге арналған кондырғыны пайдалану мембраналар тозуын төмендетуге мүмкіндік беріп, мембрана кеуектері мен беттерінің тазалану тиімділігін жоғарылатады деген қорытынды жасауға болады. Мұнда мембраналар айналуының тек жандану барысында ғана орын алатындығын атап өту керек. Мембраналар айналуы кезінде сұйықтың шекаралық қабаты да қозғалысқа келеді. Үйкеліс салдарынан өстен g қашықтықта орналасқан сұйық бөлшектері үшін көлем бірлігіндегі ортадан тепкіш күш келесіге тең: gr_0^2 . Ортадан тепкіш күш әсерінен сұйық қабаты сыртқа лықсиды. Лықсыған сұйықтық орнына қайтадан мембранамен тұтылып, өз кезегінде сыртқа лықситын жаңа сұйықтық келеді. Осылайша сұйық араласуының жоғары дәрежесі мен конструкцияның шайылуы және мембраналар жандануы орын алады. Білікшенің айналуы нәтижесінде мембранада (цилиндрде) орналасқан сұйықтық ортадан репкіш күш әсерінен мембрананың ішкі қабырғасына лықсып, бұл мембрана кеуектеріне қосымша қысым Р_{арт} тудырады. (14) формулаға сай, өз кезегінде сыртқы қабырғаларда сиреу орын алып, бұл жерде ластанған кеуектердің тазалануына алып келетін кері сипаттағы қысым құлдырауы орын алады.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Саркисов, П. Д. Проблемы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии // Хим. пром. – 2000. – №1. – С. 20–27.
- 2 Абиев, Р. Ш. Пульсационные аппараты нового поколения - энерго- и ресурсосберегающее оборудование химических производств // Хим. пром. сегодня, 2008. – №4. – С. 46-54.
- 3 Ганиев, Р. Ф., Украинский, Л. Е. Нелинейная волновая механика и технологии. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий. – М. : Институт компл. исслед-ий; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 780 с.
- 4 Абиев, Р. Ш. Интенсификация очистки промышленных сточных вод в пульсационном аппарате проточного типа // Изв. СПбГТИ(ТУ). – 2012. – № 13 (39). – С. 82-86.
- 5 Азимов, А. М., Абиев, Р. Ш., Шакиров, Б. С., Жантасов, К. Т., Сатаева, Л. М. Эффективность использование оборотных систем водопотребления на текстильных предприятиях // Изв. вузов. Технология текстильной промышл. – № 6 (348). – 2013. – С. 149-153.
- 6 Абиев, Р. Ш., Азимов, А. М., Шакиров, Б. С. Пути совершенствования очистки сточной воды с использованием тонкослойных отстойников // Хим. пром. – Т. 90. – № 6. – 2013. – С. 286–290.

7 **Азимов, А. М., Абиев, Р. Ш., Шакиров, Б. С., Жантасов, К. Т.** Очистка водных потоков в мембранном аппарате пульсационного типа// Изв. СПбГТИ(ТУ). – 2014. – № 23 (49). – С. 62-65.

8 **Абиев, Р. Ш., Васильев, М. П., Доильницын, В. А.** Исследование процесса вакуумной дегазации воды при помощи вихревого струйного аппарата// Изв. СПбГТИ(ТУ). – 2015. – № 28 (54). – С. 64-69.

9 **Азимов, А. М., Абиев, Р. Ш., Жантасов, К. Т., Сагаева, Л. М., Азимова, Н. Б., Зерхатбек, М. М.** Моделирование пульсационного мембранного аппарата для обессоливания природных и промышленных вод с периодической выгрузкой сгущенного осадка// Изв. вузов. Технология текстильной промышл. – № 1 (355). – 2015. – С. 132-138.

10 А.С. 85224 Казахстан. Мембранный аппарат / Азимов А. М., Абиев Р. Ш., Жантасов К. Т., Шакиров Б. С., Сагаев М. И., Зерхатбек М. М., Саипов А. А.; опубл. 13.01.2014. – Бюл № 6. – 3 с: ил.

Материал 19.02.16 баспаға түсті.

А. М. Азимов¹, К. Т. Жантасов¹, Р. Ш. Абиев², Г. С. Шаймерденова³

Моделирование эффективной водоподготовки для котельной в мембранах коаксиальной цилиндрической формы

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

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), г. Санкт-Петербург, Россия;

³Южно-Казахстанская Государственная Фармацевтическая Академия, г. Шымкент, Казахстан.

Материал поступил в редакцию 19.02.16.

А. М. Azimov¹, К. Т. Zhantasov¹, R. Sh. Abiyev², G. S. Shaimerdenova³

Modeling of effective treatment of water for the boiler station in the membrane of coaxial cylindrical form

¹M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan;

²St. Petersburg State Technological Institute (technical university), St. Petersburg, Russia;

³South-Kazakhstan State Pharmaceutical Academy, Shymkent, Kazakhstan.

Material received on 19.02.16.

В работе рассмотрены перспективы обессоливания промышленных и природных вод мембранными методами очистки, исследовано развитие конструкции мембранного аппарата с

мембранными элементами с целью повышения эффективности разделения смеси, увеличения продолжительности работы мембраны. Предложена математическая модель, поставленная задача решена уравнением Навье-Стокса в цилиндрических координатах.

The paper discusses the prospects for desalination of industrial and natural waters by membrane cleaning methods, investigated the structure of the membrane device with membrane elements in order to increase the efficiency of separation of the mixture, to prolong the duration of the membrane. A mathematical model, is proposed the problem is solved by Navier-Stokes equations in cylindrical coordinates.

ӘОЖ 621.391.825

А. Е. Анарбаев¹, А. О. Касимов²

¹докторант PhD; ²т.ғ.к., профессор, Қ. И. Сәтпаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ.

e-mail: alibek_anarbaev@mail.ru

SIMULINK ОРТАДА ETHERNET ПРОТОКОЛ НЕГІЗІНДЕ ЖЕРГІЛІКТІ ЕСЕПТЕУІШ ЖЕЛІНІҢ ФУНКЦИОНАЛДАУЫНА АСА ҚЫСҚА КЕДЕРГІЛЕР ӘСЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Мақалада Simulink ортада Ethernet протокол негізінде жергілікті есептеуіш желіні модельдеу көрсетілген. Бағдарламалық импульсты генератормен берілетін аса қысқа кедергілермен әсер еткендегі желі элементтердің математикалық сипаттамасы беріледі.

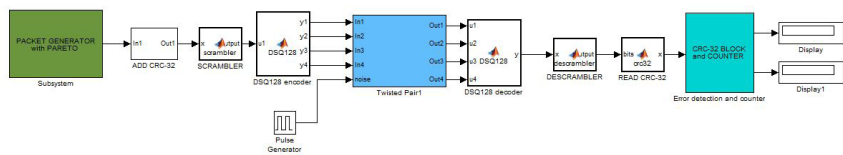
Кілтті сөздер: жергілікті есептеуіш желі, Matlab, Simulink, кедергі, аса қысқа импульс.

КІРІСПЕ

Имитациялық модельдер Ethernet заманауи жоғары жылдамдықты желілерінде деректерді жіберу процестің эмуляторлары ретінде болады. Ethernet желілеріндегі деректер 64-тен 1518 дейін байт өлшем кадрларымен жіберіледі. Мультисервистік желіде аралық желілік трафик, яғни әр түрлі ұзындықтың кадрлары басым болады. Дегенмен олардың үлестірілуі бағдарсыз болмайды. Эксперименталдық бақылаулар мультисервистік желілерде кадрдың ұзындығы Парето заңымен үлестірілгенін көрсетеді.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

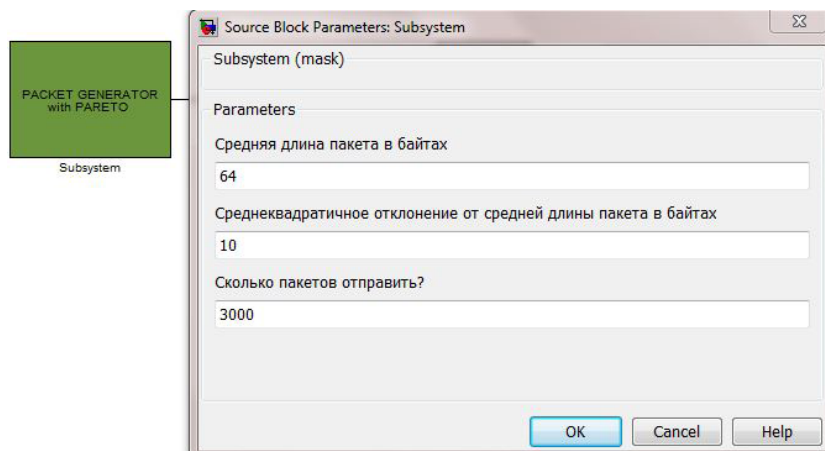
Әрбір модель келесі блоктардан тұрады (1 сурет): кадрлардың берілген сан генераторы (Packet generator with Pareto); кадрды дәйекті ағынды битке түрлендіретін логикалық кодтау блок (Encoder); сигналға кейбір бұрмалауды енгізетін бұралмалы жұп - twisted pair (өшу, айқыш-ұйқыш дәлдіктер және т. б.); өткізгіш арасында электромагниттік импульстарды бағыттайтын АҚИ ЭМС (аса қысқа электромагниттік импульс) генераторы (Pulse generator); логикалық декодтау блок (Decoder); бұрмаланған кадрларды анықтау мен санау блок (Error detection and counter).



Сурет 1 – Ethernet жергілікті желі фрагментінің имитациялық моделі

Желілердегі деректерді жіберу процестерінің осылайша ұсынылуы жеңілдетілген түр болып есептеледі, дегенмен ол жеткілікті мөлшерде Ethernet желілеріндегі деректерді жіберу процесіне АҚИ ЭМС жойқын әсер ету механизмдерін зерттеуге мүмкіндік береді. Қаралған технологиялар мен сипаттама құжаттарда айырмашылық логикалық кодтау және декодтау блоктардың ерекшеліктерінде болады.

2 суретте кадрлар генераторы блогының диалогтік мәзірі көрсетілген.

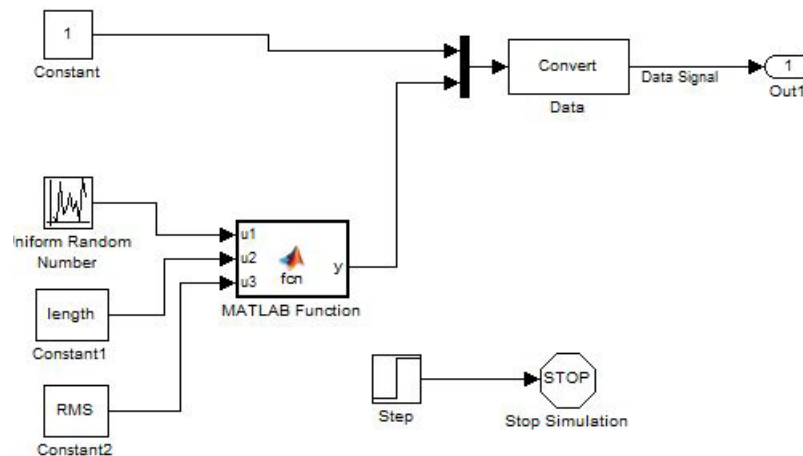


Сурет 2 – Ethernet кадрлар Генераторының блогі

Екі режим – Парето үлестіру бойынша трафиктің генерациясы және кадрдың белгіленген ұзындықпен трафиктің генерациясы. Блок үш параметрде болады – екеуі Парето үлестіру бойынша қалыптасады (кадрдың орташа ұзындығы және орташа ұзындықтан орташа квадраттық ауытқу), және үшінші – жіберуге керек болатын кадрлар саны. Берілген кадрлар санын жіберуден кейін эмуляция автоматты түрде тоқтайды.

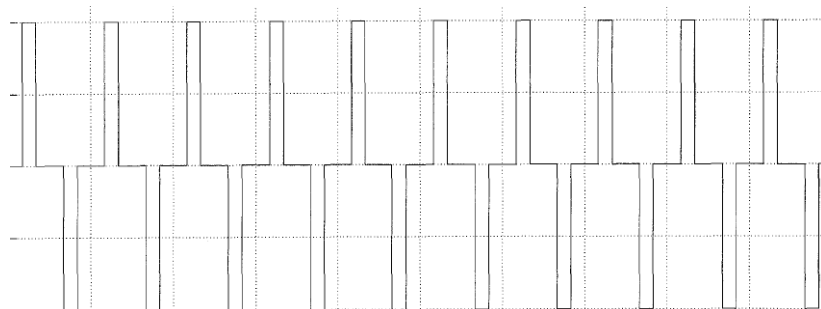
Кадрлар генераторы (3 сурет) 100Base-TX, 1000Base-T және 10GBase-T сипаттама құжаттарда берілген параметрлерге сәйкес биттердің тізбегін қалыптастырады. Ең басында Uniform Random Number, Constant 1, Constant 2 блоктар көмегімен кадрдың ұзындығы есептеледі. Бұл ретте Парето заңымен үлестірілген кездейсоқ санның бағдарламалық генераторы қолданылады. Сосын есептелген ұзындық бойынша Data блок арқылы кадр деректердің өзі салынады. Step және Stop Simulation блоктар берілген кадрлар саны жіберілгеннен кейін симуляцияның тоқтауын қамтамасыз етеді.

Атап айтқанда, орташа ұзындықтан нольдік ауытқуды қойғанда, біз бұрын алынған аналитикалық формуларды тексере аламыз. Келесі кезең – сипаттама құжат стандартқа сәйкес логикалық символдардың үздіксіз тізбекке кадрлар мен үзілісті кодтау; бұл физикалық кодтаудың қосалқы деңгейі. Басында биттердің бастапқы тізбегі скрембленеді, яғни кездейсоққа жақын тізбекті алу үшін ауыстырылады. Fast Ethernet үшін сигналды кодтау екі сағыда болады: басында биттердің бастапқы тізбегі төрт битті пакеттерге бөлінеді, IEEE 802.3 анықталғандай, кестеге сәйкес оның әрбірі бес биттікке ауыстырылады. Сосын, MLT-3 блокпен скремблеуден кейін үштік символдар тізбегіне сигналдың кодтауы болады: «-1», «0», «1» (4 сурет).



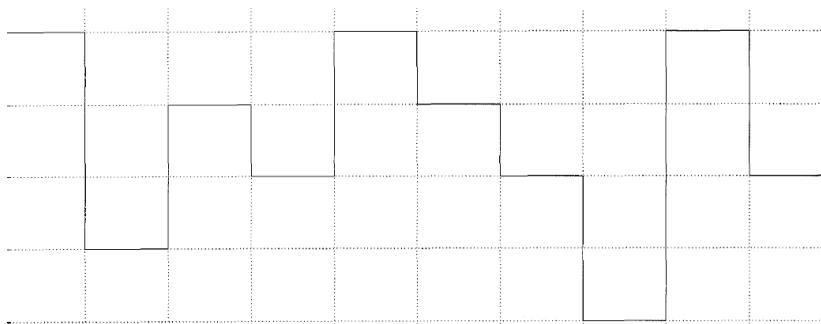
Сурет 3 – генератор кадрлардың құрама блоктары

Атап айтқанда, алгоритмді кодтаумен шешілетін негізгі міндеттердің бірі, сигналдың тұрақты құрамын минимумға әкелу. Сондықтан барлық үш стандартта кодтау симметриялық түрде.



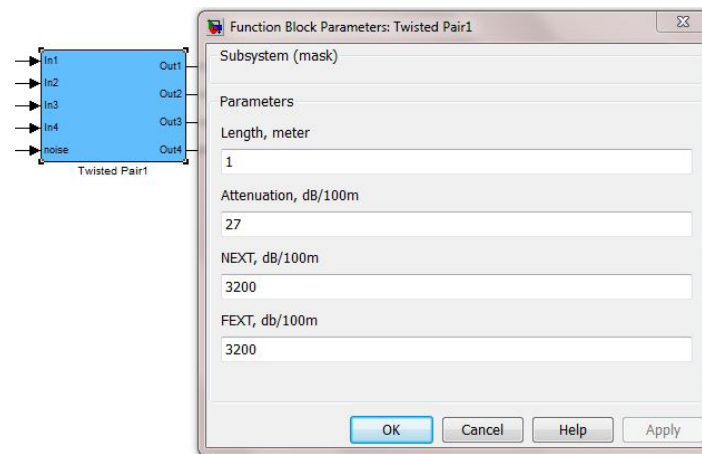
Сурет 4 – Fast Ethernet (100Base-TX) сигналдың осциллограммасы

Gigabit Ethernet стандартында деректерді жіберу барлық төрт бұралмалы жұпта болады, ол біздің модельде ескерілген. Кодтаудың сипаттама құжаты шағылатын негізгі блок – 4D PAM-5-кодер. Әрбір анықталған момент уақытында біреу емес, төрт символ генерацияланады, оның әрбірі «-1»; «-0,5»; «0»; «0,5»; «1» мәнді қабылдау мүмкін (5 сурет). Одан басқа, осы стандартта толық дуплекс іске асырылған: қабылдау және жіберу бір мезгілде жүреді.



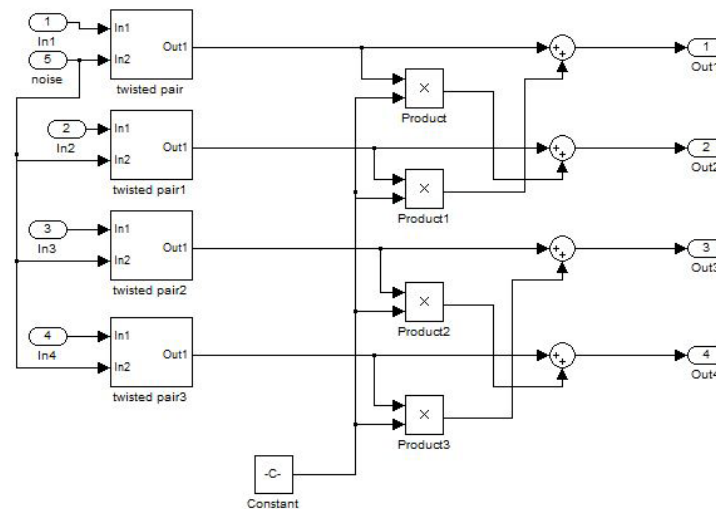
Сурет 5 – Gigabit Ethernet (1000Base-T) сигналдың осциллограммасы

Модельде жақын жатқан жұптың өзара іс-әрекетті шағылатын бұралмалы жұптың сипаттамасы (6 сурет) ескеріледі.

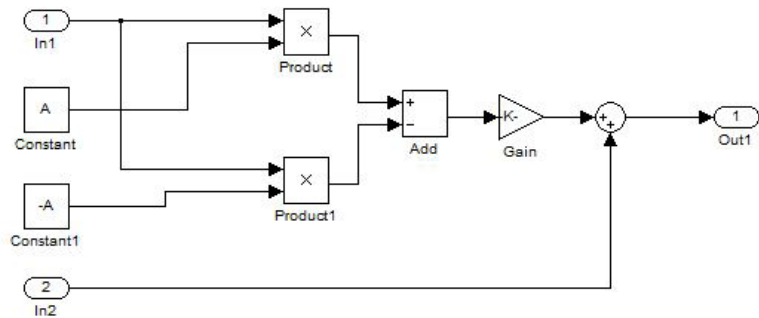


Сурет 6 – Бұралмалы жұп Блок (желілік интерфейс арасында кабельдің фрагменті)

Ол үшін FEXT және NEXT параметрлері ескеріледі. Constant (7 сурет) блокта жалпы блокқа жіберілетін, параметрлер бойынша есептелген осы параметрлердің массиві сақталады. Әрбір Twisted pair блоктар жоғары жиілікті сигналдарға ескерілген жіберудің дифференциалдық орта (8 сурет) ретінде болады.



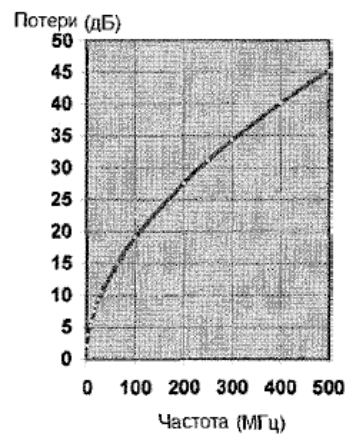
Сурет 7 – Кабельдегі тоғыспалы нысанындағы дәлдікті ескеретін блоктар



Сурет 8 – Жіберудің дифференциалдық ортасы ретіндегі бұралмалы жұп модель

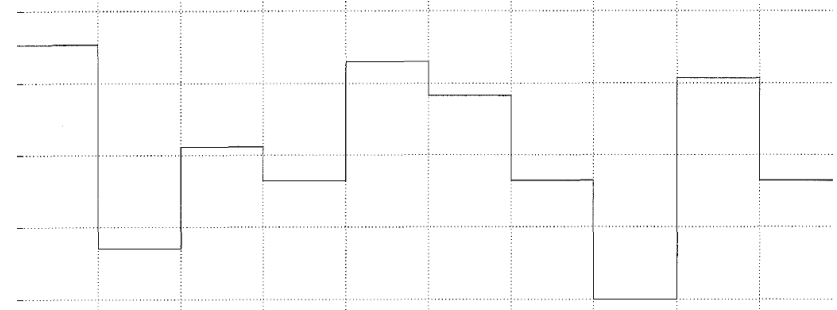
10GBase-T сипаттама құжатқа сәйкес кодтау модельдерін жеке қарастыру керек, оның бірқатар айырма ерекшеліктері болады. Біріншіден, онда жіберу ортасы ретінде 5-ші емес 6 категориялы бұралмалы жұп қолданылады. Бұл бұралмалы жұп параметрлердің жиіліктік тәуелділігі арқылы модельде ескерілген (9 сурет).

Жіберу ортасының модельдеуін бұралмалы жұпты тікелей қарап шығу керек. – Тиісті блоктардың қасиеттерінде бұралмалы жұп ұзындығы беріледі, 100 метрге өшу, 100 метрге тоғыспалы жоғалтулар. Одан басқа модель бұралмалы жұп дифференциалды екендігін көрсетеді, яғни кернеу таңбамен ерекшеленеді, ал шығысында оның айырымы есептеледі (8 сурет).



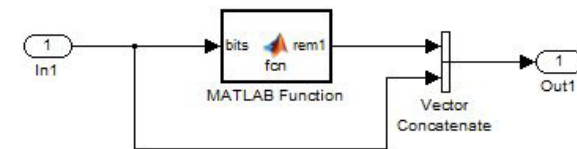
Сурет 9 – 6а санатты бұралмалы жұптың тура өшуінің сигналдың жиілігіне жиіліктік тәуелділігі

Бұралмалы жұптың негізгі қасиеттері жиілікке тәуелді болғандықтан, виртуалды спектр анализаторы болып сигналдың спектрі алынды, ал сипаттамасы түрлендіру кесте арқылы есептелді. Модельдеу арқылы алынған 16-деңгейлі сигналдың осциллограммасы 10 суретте көрсетілген.

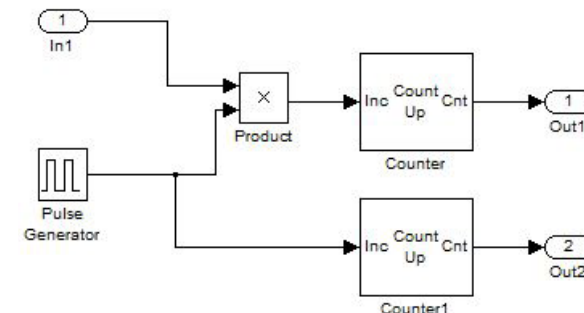


Сурет 10 – 10 Gigabit Ethernet (10GBase-T) сигналдың осциллограммасы

Енді қателерді табу блогын және олардың санын есептеуін қарастырайық (11,12 сурет). MATLAB Function функциясы CRC-32 полиномы арқылы қорытынды сома өріс биттерін есептейді және оларды Ethernet кадрларының соңына қосады.



Сурет 11 – Қорытынды сома өрісіндегі жазба



Сурет 12 – CRC-32 қателер санын мен алынған кадрлардың толық санын есептеу алгоритмі

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорытынды сомасының өріспен бұрмаланған кадрлары ғана есептеледі, ол тек сол кадрдың өзінде бұрмалану болатындығын көрсетеді. Бұл биттік тізбек кадр ретінде идентификацияланғана жағдайда ғана болады. Егер кедергі қызметтік өрістерді бұрмаласа, өрістің ұзындығы, преамбула және т.б. онда берілген тізбек кадр сияқты анықталмайды, кадр лақтырып тасталынады.

in1 қателерді есептеудің блогының кіруіне (А.12 сурет) CRC-32 қате индикаторларының шығуы келеді. Ол Pulse Generator шығуында тактілінетін импульстар тізбегіне көбейтіледі. Одан соң сигнал санауыш арқылы өткізіледі, және out1 шығу бөлігінде симуляцияның ағымдағы уақыттағы CRC-32 қателерінің саны қалыптасады. Ал, out2 шығу бөлігінде кадрлардың толық саны қалыптасады.

Материал 28.01.16 баспаға түсті.

А. Е. Анарбаев, А. О. Касимов

Моделирование влияния сверхкоротких помех на функционирование локальной вычислительной сети на базе протокола Ethernet в среде Simulink

Казахский национальный исследовательский
технический университет, г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 28.01.16.

А. Е. Анарбаев, А. О. Касимов

Modeling of the ultra-short pulse impact on the local area networks in the Simulink environment

Kazakh National Research Technical University, Almaty.
Material received on 28.01.16.

В статье приведено моделирование локальной вычислительной сети на базе протокола Ethernet в среде Simulink. Дано математическое описание элементов сети при воздействии в ней сверхкоротких помех, задаваемых программным импульсным генератором.

In this paper Ethernet local area network modeling in the Simulink environment is considered. The mathematical description of network elements is given due to ultra-short pulse impact, which is generated by the software pulse generator.

ЭОЖ 621.391.825

А. Е. Анарбаев¹, А. О. Касимов²

¹докторант PhD; ²т.ғ.к., профессор, Қ. И. Сәтпаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ.
e-mail: alibek_anarbaev@mail.ru

ETHERNET ЛОКАЛДЫ ЖҮЙЕ ФРАГМЕНТІНЕ АСА ҚЫСҚА ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИМПУЛЬС ӘСЕР ЕТУДІҢ ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУІ

Мақалада Ethernet локалды жүйе фрагментіне аса қысқа электромагниттік импульс әсер етудің тәжірибелік зерттеу нәтижелері көрсетілген.

Кілтті сөздер: аса қысқа электромагниттік импульс, әсергілікті желі, импульсты кернеу генераторы, осциллограф, коммутатор

КІРІСПЕ

Жергілікті есептеуіш жүйелерге аса қысқа электромагниттік импульс (АҚИ ЭМС) әсер ету дәрежесін анықтаудың табиғи тәжірибе ықтималдық және имитациялық модельдердің түзуліктігін тексеру үшін тәжірибелік деректерді алу мақсатымен, және де трафик сипаттамасынан және нысандаған периодты импульстар кедергілердің параметрлерден байланысты Ethernet кадрлар жоғалту заңдылықтар мен механизмдер анықтау үшін жүргізілген. Ол үшін Fast Ethernet и Gigabit Ethernet технология бойынша функционалдайтын локалды желілер моделіне байланыс желілер бойымен АҚИ ЭМС әсер етудің тәжірибе сериясы өткізілген.

Тәжірибе барысында келесі параметрлер өзгерілген:

Трафиктің параметрлері:

– кадрдың ұзындығы (екі жағдайды қарастыру: кадрдың белгіленген ұзындығы (64, 512, 1518 байт), кадрдың кездейсоқ ұзындығы (от 64 до 1518 байт)).

Байланыс желінің сипаттамалары:

– U/UTP (экрандалмаған бұралмалы жұп);

– F/UTP (экрандалған бұралмалы жұп).

Әсер ететін АҚИ ЭМС параметрлері:

– жүру жиілігі;

– импульстің ұзақтығы;

– импульстің амплитудасы.

Инъекция тәсілдері:

- сыйымдылықты байланыс;
- индуктивті байланыс.

Лабораториялық стенд құрамына кіреді:

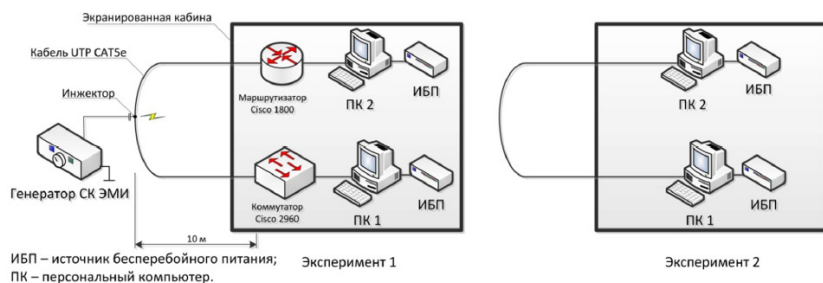
- жергілікті желілердің модельдері (Fast Ethernet и Gigabit Ethernet);
- Ethernet кадрларды генерациялау үшін бағдарламалық қамтамасыз ету;
- Генератор шығуында және желілік интерфейс жүктемесіндегі байланыс желіде бағытталған периодты импульсты кедергіде АҚИ ЭМС параметрлердің өлшеулерінің құралдары;
- Жергілікті есептеу желісі диагностика үшін бағдарлама-аппараттық қамтамасыз ету.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Барлығы екі тәжірибе жасалынды. Тәжірибені түзетуге байланысты сәйкесінше стенд жиналды. Екі тәжірибеде деректерді жіберу ПК1-ден ПК2-ге жүзеге асты. 1 суретте стендтің сұлбалары көрсетілген.

[1] көрсетілген дәлелдеуге сәйкес өткізілген тәжірибеде АҚИ ЭМС инъекцияның келесі жерлері қарастырылған:

- 1 эксперимент – маршрутизатор бөлімшіді – коммутатор;
- 2 эксперимент – ПК1 бөлімшіді – ПК2.

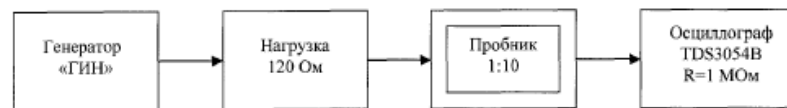


Сурет 1 – Табиғи тәжірибе жасау үшін стендтердің сұлбалары

Стенд құрамындағы екі ПК Windows 7 Ultimate x64 SP1 операциялық жүйе басқаруымен жұмыс істейді. Компьютер арасындағы байланыс 100Base-TX сипаттама құжат, Fast Ethernet (1 тәжірибе) және 1000Base-T сипаттама құжат Gigabit Ethernet (2 тәжірибе) технологиялармен қамтамасыз етіледі. Жіберудің физикалық орта ретінде 20 метр ұзындығымен кабель (5е категориялы экрандалмаған және экрандалған мыстық бұралмалы жұп) қолданылады. Кабельдің осындай ұзындығы [2] көрсетілгендей шолуға сәйкес таңдалған, ол қолжетерлік желілерде кең таралған.

Компьютерлерді қоректендіру электр желілерден өшірілген APC Smart-UPS 1000 үзіліссіз қуат беру көздерінен жүзеге асты, ол паразитті дәлдеуден құтылу үшін жасалынған. Әсер ету дереккөзі ретінде импульсты кернеу генераторы («ГИН») қолданылды.

«ГИН» шығуында АҚИ ЭМС параметрлердің бақылаулық өлшеулер: 2 суретте көрсетілген сұлбаға сәйкес бақылаулық өлшеулер жүргізілді.



Сурет 2 – «ГИН» шығуында АҚИ ЭМС параметрлердің өлшеу сұлбасы

Штаттық жүктеменің кірістік кедергі 120 Ом.

Жүктеменің балластық кедергі 20 Ом.

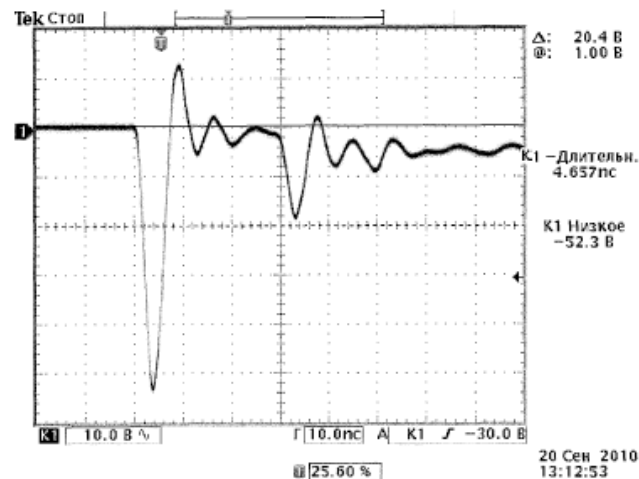
Шығыстық кедергі 100 Ом.

Tektronix TDS3054B осциллографтың сынамасымен кірістік кедергі 1 МОм.

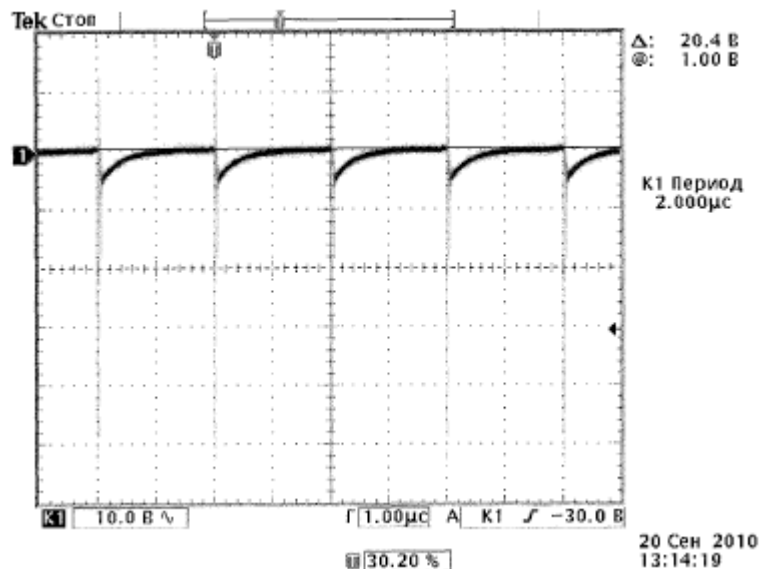
Сынамасының коэффициент бөлімі 1:10.

Осциллографтың жиіліктер өткізу жолағы 500 МГц. 1:10 сынамасы 150 МГц.

Өлшеу өткізу барысында әр түрлі ұңғылауда осциллограмманың сигналдары тиянақталған. Кәдімгі осциллограммалар 3 және 4 суреттерде көрсетілген.



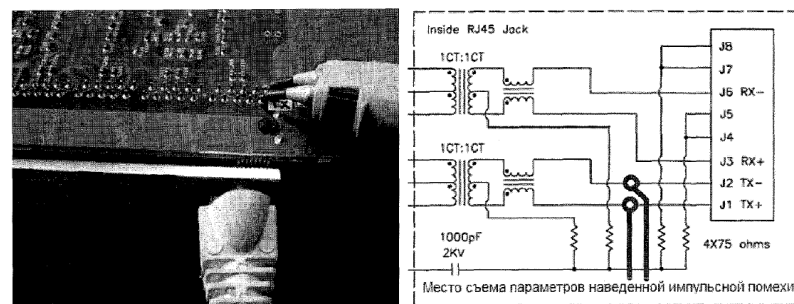
Сурет 3 – 10 нс/дел ұңғылау кезде АҚИ ЭМС-тың осциллограммасы



Сурет 4 – 1 мкс/дел ұңғылау кезде АҚИ ЭМС-тың осциллограммасы. Жүру импульсінің периоды 2 мкс

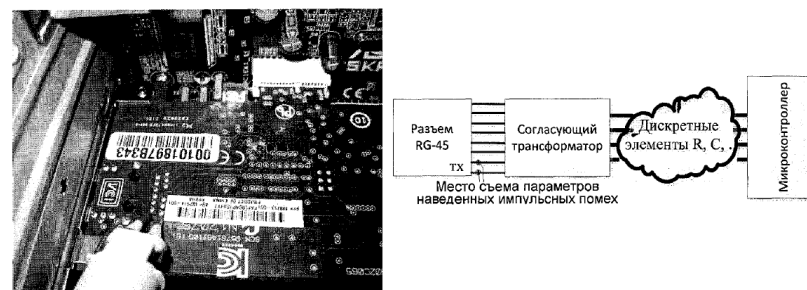
1 және 2 тәжірибе өткізу сұлбасына сәйкес байланыс желіге АҚИ ЭМС инжекциялағанда ПК1-ден ПК2-ге жіберілетін символдардың бұрмалануы болады. Соның нәтижесінде инжекция орнынан ең жақын желілік интерфейсте (деректер қабылдауды жүзеге асырамыз) дұрыс емес кадрларды лақтырып тастау болады. 1 тәжірибеде ол Cisco Catalyst 2690 коммутатордың порты, ал 2 тәжірибеде – ПК2-ге желілік адаптердің ажыратуы. Сондықтан осы интерфейстарда бағытталған периодты импульсты кедергілергі тиянақталған және арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету көмегімен лақтырылған кадрлардың бақылаумен жүзеге асты.

АҚИ ЭМС әсер ету нәтижесінде байланыс желімен жасалынатын периодты қайталанатын импульсты кедергілерді өлшеу үшін 1 тәжірибеде Cisco Catalyst 2690 коммутатордың қаптамасы шешілді. Деректерді енгізу/шығару плата портында орналасқан RJ-45 ажырату аяқтарына Agilent 1131A (кірістік кедергі 50 Ом) белсенді сынама қосылған (5 Сурет). Сынама Agilent DSO90254A осциллографқа қосылды.



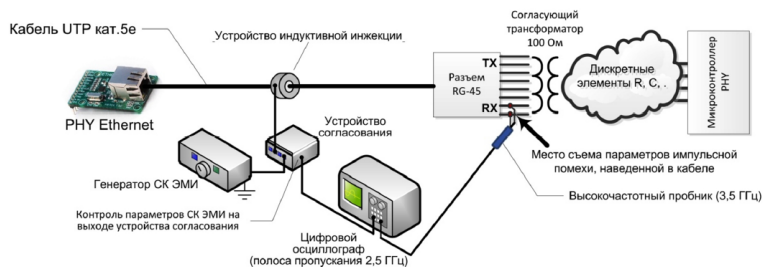
Сурет 5 – Cisco Catalyst 2690 коммутатор деректердің енгізу/шығару портында токтар мен кернеулерді өлшеу үшін сынаманың қосылу сұлбасы

Келістіруші трансформатор аяқтарына желілік адаптер кіруінде (2 тәжірибе) нысандау сигналдарды өлшеу мүмкіндігін қамтамасыз ету мақсатымен Agilent 1131A жоғары жиілікті сынама қосылған (6 сурет).



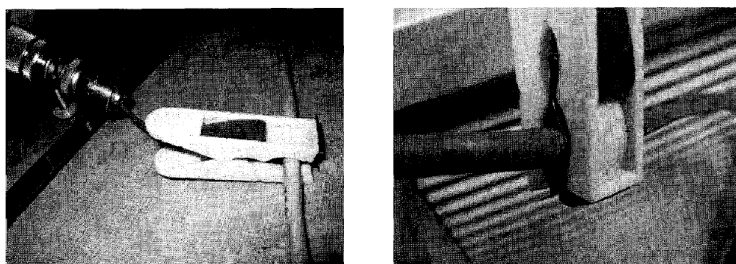
Сурет 6 – ПК2 желілік адаптерде бағытталған токтар мен кернеудің өлшеу үшін сынаманың қосылу сұлбасы

АҚИ ЭМС инжекциясы 20 метр ұзындықпен кабель ортасында сыйымдылық және индуктивті байланыс арқылы жүргізілді. Инжекция сұлбасы және өлшеуіш жабдығының қосылуы 7 суретте көрсетілген.

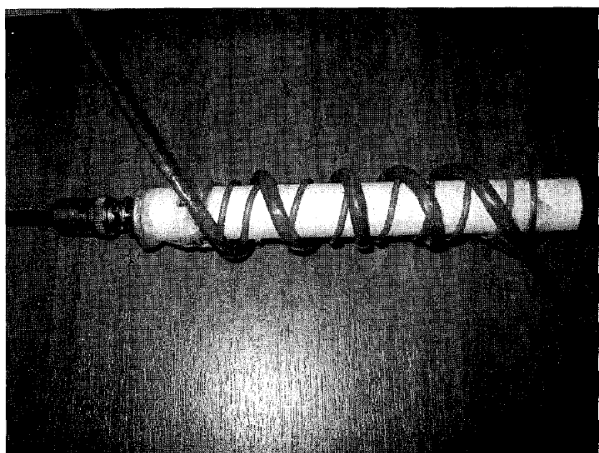


Сурет 7 – Инжекция сұлбасы және өлшеуіш жабдығының қосылуы

УТР кабельге АҚИ ЭМС тікелей инъекциялау үшін қолданылатын құрылғылар 8 және 9 суретте көрсетілген.

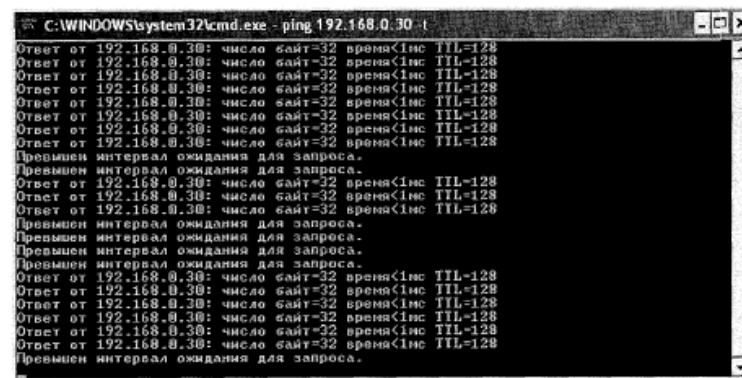


Сурет 8 – Сымды байланыс желілері бойымен сыйымдылықты инъекцияның сұлбасы



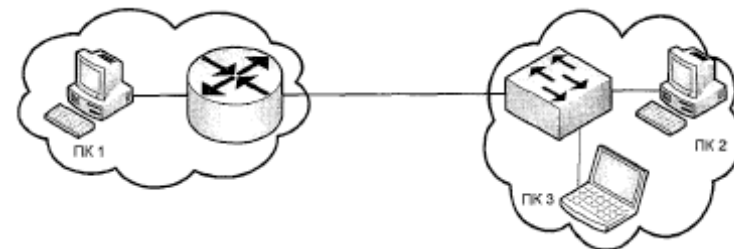
Сурет 9 – Сымды байланыс желілері бойымен индуктивті инъекцияның сұлбасы

Инжекцияланған параметрлер жіберілетін деректерді бұрмалайтындығын білу үшін, Windows 7 операциялық жүйенің стандартты құрылғылары пайдаланды. ПК1-ден ПК1-ге ПК2-ге командалық жолда (-t) үздіксіз жіберу параметрмен ping утилитасы іске қосылды. Жіберілетін жағында жеткізілген жаңғырық-сұранымның статистикасы тиянақталған. 10 суретте жіберудің қатесін көрсететін бағдарламаның терезесі көрсетілген - сұраным үшін күту аралығының асуы.



Сурет 10 – ПК1-ге командалық жолдың терезесі - ПК2-ге жаңғырық-сұраным жіберу жүреді. ICMP-сұранымның бөлігі адресатқа жеткізілмеген.

Тәжірибе өткізгенде деректерді жіберу кезінде Ethernet кадрлардың жоғалту диагностикасы жүзеге асырылды. 1 тәжірибеде Cisco коммутаторға енгізі/шығару портында қателердің статистикасын жинау үшін Fluke Networks Switch Port Monitor бағдарламалық қамтамасыз етумен қарастырылған ПК3 қосылған (11 сурет).



Сурет 11 – 1 тәжірибеде Ethernet кадрларды жоғалтуын өлшеу үшін жабдықтың орналасу сұлбасы

Екі тәжірибеде ПК1 мен ПК2-ге желілік интерфейстерде қателерді бақылау үшін (11 сурет) Fluke Networks OptiView Protocol Expert желілік трафиктің анализаторы пайдаланылды, құрамында желілік адаптер микроконтроллерден статистиканы алу үшін мамандырылған драйвер.

Желілік трафикті генерациялау және қате кадрлардың фиксациялау үшін 1 кестеде көрсетілген бағдарламалық-аппараттық құрылғы пайдаланылды.

Кесте 1 – Бақыланатын шамалар және бақылау құрылғылар

	Бақылау процедурасы	Диагностика құрылғысы
1.	Байланыс желісінің физикалық параметрлердің бақылауы	Fluke Networks Cable Analyzer Series DTX 1200
2.	Желілік трафиктің генераторы	LAN Tornado RFC 2544 Jperf 2.0.2 RAW-интерфейстерде кадрлардың генераторы
3.	Каналдық деңгейде CRC қателерді бақылау	CommView 6.1 Fluke Networks OptiView Protocol Expert
4.	Коммутатор портында қателерді бақылау	Fluke Networks Switch Port Monitor v.1.2

ҚОРЫТЫНДЫ

Тәжірибелік зерттеулерді дайындауда және өткізуде келесі мәселелер шешілді:

- АҚИ ЭМС генератор сигналдардың бақылаулық өлшеу өткізілді;
- Байланыс желілер бойымен АҚИ ЭМС әсер етуінде Ethernet кадрларды жоғалтудың келесі қорытындыларға жеткілікті статистика жиналды;
- Ethernet кадрларды жоғалтуда бағытталған периодты қайталанатын импульсты кедергілердің әсер ету заңдылығын анықтау;
- тәжірибе барысында алынған деректердің жоғары дәлдікпен қамтамасыз ету үшін.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Brauer, F., Sabath, F., Haseborg, J. L.** Susceptibility of IT network systems to interferences by HPEM, Electromagnetic Compatibility / F. Brauer and at all.– EMC. – IEEE International Symposium. – 2009. – P. 237-242.

2 **Radasky, W. A., Messier, M. A., WikM. W.** Intentional electromagnetic interference (EMI) – Test data and implications / W. A. Radasky and at all // Proc. of the 14th Int. Zurich Symp. on EMC. Zurich. – 2001. – P. 29-36.

Материал 28.01.16 баспаға түсті.

А. Е. Анарбаев, А. О. Касимов

Экспериментальное исследование воздействия СКИ ЭМИ на фрагмент локальной сети Ethernet

Казахский национальный исследовательский технический университет, г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 28.01.16.

А. Е. Анарбаев, А. О. Касимов

Experimental research of the ultra-short electromagnetic pulse impact on the fragment of Ethernet local area network

Kazakh National Research Technical University, Almaty.
Material received on 28.01.16.

В статье приведено экспериментальное исследование воздействия СКИ ЭМИ на фрагмент локальной сети Ethernet.

In this paper an experimental research of the ultra-short EM pulse impact on the fragment of Ethernet local area network is considered.

Ш. М. Байматаева

к.т.н., доцент, кафедра «Информационные технологии», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы

СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Предложена процедура управления объектом для подготовки операторов на основе модели деятельности оператора, позволяющая моделировать проблемную ситуацию и вырабатывать управляющее решение с использованием представлений экспертных систем ситуационного управления.

Ключевые слова: технологический процесс, ситуационное управление, система подготовки операторов, тренажер.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловые электрические станции, оснащенные современными микропроцессорными системами автоматизированного управления, имеют сложные комплексы автоматики. Управление технологическим процессом в таких системах осуществляет оперативный персонал. Процессы управления агрегатами комплекса достаточно формализованы, однако роль оператора является основной в контуре управления.

Созданию систем подготовки операторов предшествует разработка математической модели объекта. Практическая реализация таких моделей включает в себя определение требований к их разработке, так как, системы дифференциальных уравнений, описывающие процессы управления в агрегатах тепловых станций, имеют в своем составе уравнения, решения которых по временным параметрам существенно отличаются друг от друга [1].

Одним из эффективных приемов является использование аналитических решений системы уравнений динамики элемента, линеаризованной на временном интервале, равном шагу вычислительного процесса [2]. Для определения расхода, энтальпии и давления рабочей среды и температуры труб использованы метод Ньютона в сочетании с методом Эйлера-Коши. Этот метод для устойчивых физических систем дает устойчивое решение для отдельных уравнений.

В реализации численной нелинейной модели решающим моментом является выбор метода уравнений в частных производных [3]. С точки зрения структурного анализа, решаемые системы дифференциальных и алгебраических уравнений характеризуются большим количеством замкнутых контуров и широким диапазоном изменения постоянных времени замкнутых подсистем.

Кроме того, для эффективного построения обучающей системы целесообразно использовать единый подход для описания процессов в агрегатах тепловых станций и выработки управляющих решений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Ситуационная модель описывает управление объектом на основе моделей деятельности оператора. Описание деятельности состоит в том, чтобы найти семантическую сеть и правила, формирующие множество оперативных алгоритмов. В основе ситуационного моделирования лежит использование логико-лингвистической модели объекта, которая формально представляется в виде семантической структуры [4]. Семантические структуры представляют собой сети, состоящие из информационных структур двух видов:

- сведения о данных, наблюдаемых на моделируемом объекте;
- логические и причинно-следственные связи между наблюдаемыми данными.

Для такой структуры введены некоторые допущения:

1. Пустой объект не содержит никакой информации.
2. Простое управление – элемент множества управлений.
3. Слиянием управлений назовем операцию образования нового управления, состоящего из элементов таблиц управлений.
4. Сложное управление – получается в результате слияния нескольких простых управлений.

Формирование моделей в виде семантических структур выполняется на основе диалога с пользователем и является средством для применения в обучении оперативного персонала. На основе проведенных исследований разработана модель парогенератора с имитацией реальных динамических характеристик для компьютерного тренажера [5]. Модель базируется на системе линеаризованных исходных нелинейных уравнений энергии, состояния, движения. Результаты разработанной математической модели используются в составе компьютерной обучающей системы в классе экспертных систем управления.

Характеристики участков задаются параметрами, определяющими состояние среды на входе и на выходе участка. Остальные параметры зависят от конструктивных особенностей участка и теплофизических данных.

Целью любого способа управления является поддержание нормального режима, при котором значения всех параметров соответствуют требованиям регламента. Определяется интервал допустимых значений, то есть, область:

$$y_i^* - \varepsilon_i \leq y_i \leq y_i^* + \varepsilon_i. \quad (1)$$

Интервал задан следующими условиями: верхняя аварийная граница $-y_i \geq y_i^{\max}$; нижняя аварийная граница $-y_i \leq y_i^{\min}$, при которых отклонения опасных технологических переменных за пределы, обусловленные регламентом, приводят к возможности выхода из строя основного оборудования.

При определении состояния лежащих в области $y_i^{\min} < y_i < y_i^* + \varepsilon_i$ и $y_i^* + \varepsilon_i < y_i < y_i^{\max}$ увеличение числа интервалов разбиения приводит к росту числа ситуаций, в то же время позволяет более точно управлять динамическими объектами.

Управление обучением осуществляется в два этапа:

– устанавливается текущая цель обучения;

– осуществляется планирование действий, направленных на достижение цели. На этапе обучения управлению процессом необходимо научить оператора определению целевой ситуации. Процесс управления установкой состоит из следующих шагов: *диагностика; планирование действий; принятие решений.*

Для проведения диагностики оператор должен иметь представления о причинно-следственных связях параметров, знать номинальные значения параметров, их ограничения, функции включенных автоматов и защит. На этапе планирования должны соблюдаться ограничения на значение управляющих воздействий и отклонений параметров, которые известны. Человек-оператор обычно выбирает управляющие воздействия в порядке, определяемом силой их влияния на параметр, который требуется изменить. Обобщенный алгоритм обучения приведен на рисунке 1:

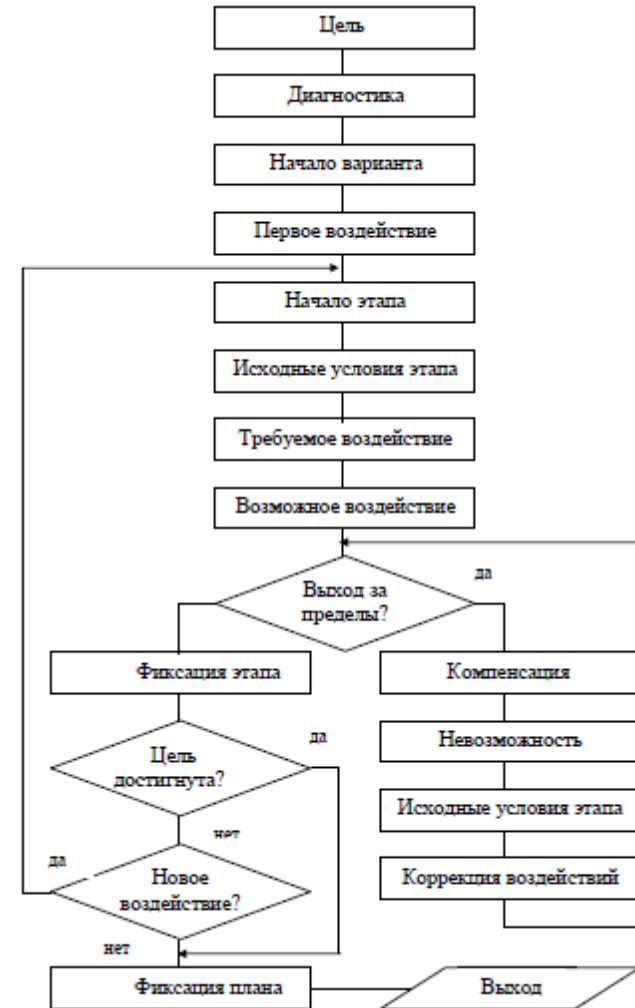


Рисунок 1 – Обобщенный алгоритм обучения

Таким образом, условиями для планирования являются:

- наличие цели;
- определенность в отношении возможных управляющих воздействий, на основании которых формируется множество допустимых воздействий;
- передаточные функции для конкретного состояния объекта;
- сведения об имеющемся резерве по управляющим воздействиям;
- границы допустимых отклонений параметров.

Программный комплекс модели парогенератора реализован по модульному принципу, состоит из форм, реализованных на объектно-ориентированном языке.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены вопросы построения систем подготовки операторов управления процессами в тепловых электрических станциях. Проведенные исследования легли в основу построения процедуры управления объектом на основе модели деятельности оператора. Разработана система принятия решений при управлении процессом обучения оператора с использованием представлений экспертных систем ситуационного управления. Разработанная процедура может быть использована для поиска оптимальных управляющих решений оператором при управлении объектами тепловых станций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Шевьяков, Ю. В., Байматаева, Ш. М.** Имитационная модель пароводяного тракта котла БКЗ-420 для полномасштабного тренажера системы подготовки операторов. Труды 3-ей международной конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». – Алматы : АИЭС, 2002. – С. 89-91.

2 **Серов, Е. П., Корольков, Б. П.** Динамика парогенераторов. – 2-е изд., перераб. – М. : Энергоиздат, 1981. – 408 с.

3 **Ракитский, Ю. В., Устинов, С. М., Чернорудский, И. Г.** Численные методы решения жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений. – Л. : ЛПИИ, 1977.

4 **Байматаева, Ш. М.** Семантические структуры для ситуационного управления в тренажерах//Поиск. –2006. – №3. – С. 230-232.

5 Sholpan M. Baimatayeva, Sh. M. Yuriy, V. Shevyakov. Study of Models for Heating Power Station Operator Training Systems//Journal of Energy and Power Engineering. – Volume 7. №1. – 2013.

Материал поступил в редакцию 24.02.16.

Ш. М. Байматаева

Жылу электр станцияларының операторларын оқыту процесін басқарудағы шешім қабылдау жүйесі

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ.
Материал 24.02.16 баспаға түсті.

Sh. M. Baimatayeva

Decision making system used at heating power station operator training process control

Kazakh National Research Technical University after K. I. Satpayev, Almaty.
Material received on 24.02.16.

Оператордың іс-әрекеті үлгісі негізінде ситуациалық басқарудың сарапшылық жүйелерінің ұсыныстарын қолданумен мәселелік жағдайды үлгілеуге және басқарушы шешім жасауға мүмкіндік беретін операторларды дайындау үшін объектіні басқару процедурасы ұсынылған.

The paper proposes an object control procedure for operators training based on the operator's activity model, allowing to simulate a problem situation and develop a control decision using situation control expert systems representation.

УДК 621.31:538.945

**А. Б. Бупежанова¹, М. А. Зингер¹, К. В. Клементьева¹,
И. В. Захаров²**

¹студенты; ²д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Дан анализ применения высокотемпературной сверхпроводимости в широком диапазоне технических устройств силовой электроэнергетики.

Ключевые слова: высокотемпературная сверхпроводимость, электроэнергетические устройства.

До последнего времени практическое применение сверхпроводников в различных отраслях промышленности было весьма ограниченным вследствие их низких рабочих температур – менее 20 К. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) обусловила возможность создания нового

поколения электрооборудования с $T_{кр} > 77$ К. Высокотемпературные сверхпроводники можно использовать при изготовлении силовых кабелей, трансформаторов, электрических машин, индуктивных накопителей энергии, ограничителей тока и т.д., где в обычном состоянии активные потери электроэнергии составляют значительную часть.

ВТСП силовые кабели. Для ознакомления с конструкцией ВТСП кабеля рассмотрим в общих чертах два его исполнения, принципиально отличающихся друг от друга, – «теплым» и «холодным диэлектриком» [1].

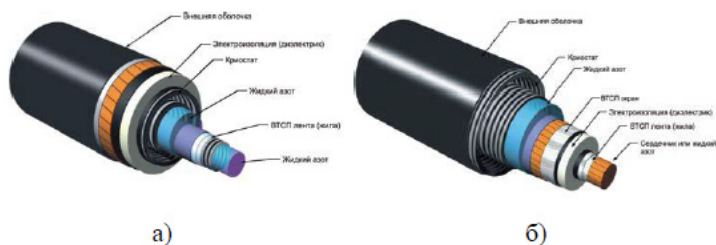


Рисунок 1 – Конструкция ВТСП кабеля с теплым а) и холодным б) диэлектриком

Кабель с «теплым диэлектриком» (рисунок 1, а) конструктивно сходен с традиционным кабелем. Охлаждение ВТСП жил производится жидким азотом. Диэлектрик накладывается поверх криостата, что позволяет применять обычные изоляционные материалы. При производстве и монтаже такого кабеля можно использовать те же технологии, что и для обычных кабелей. Сечение криостата ВТСП кабеля с «теплым диэлектриком» меньше, чем у кабеля с «холодным диэлектриком», следовательно, его гидравлическое сопротивление будет также выше, что усложняет систему криогенного обеспечения и накладывает ограничение на максимальную длину кабельной линии. Конструкция соединительных и тоководных муфт также усложняется по сравнению с ВТСП кабелем с «холодным диэлектриком».

В кабеле с холодным диэлектриком (рисунок 1, б) ВТСП жила кабеля окружена коаксиальным сверхпроводящим экраном (также навитым из ВТСП лент), служащим для экранирования магнитного поля. Диэлектрик, располагается между ВТСП жилой и экранирующим слоем. Несомненным плюсом ВТСП кабелей с холодным диэлектриком является возможность размещения всех трех фаз в общем криостате (для класса напряжений до 35 кВ). Недостатками ВТСП кабеля с «холодным диэлектриком» является сложная технология изготовления и увеличенный расход сверхпроводящих материалов. Минимально допустимый радиус изгиба для кабелей с холодным диэлектриком также выше, чем для кабелей с теплым диэлектриком. Несмотря

на это, данная конструкция получила большее распространение среди разработчиков. В состав ВТСП кабельных линий электропередачи входит не только кабель, но и система криогенного обеспечения (для охлаждения кабеля жидким азотом), концевые и соединительные муфты (как и для обычных кабелей), система мониторинга. Поэтому в связи со сложностью всех элементов (в том числе в составе самого кабеля), ни одна компания в мире пока не может реализовать проект только своими силами, и каждый существующий образец кабеля выполнялся несколькими фирмами одновременно.

В 2014 году трехфазный ВТСП кабель километровой длины был включен в городскую электрическую сеть г. Эссена (Германия), соединив две подстанции в центре города. ВТСП кабель способен передавать мощность в 40 МВт (10 кВ, 2,3 кА) и заменяет ЛЭП на 110 кВ. На сегодня ВТСП кабель проекта AmraCity является самым протяженным в мире.

Компании RWE Deutschland и Nexans совместно с исследовательским центром Karlsruhe Inst. Technology (KIT) объявили о начале работ над проектом AmraCity в 2012 г. Трехфазный ВТСП кабель выполнен по коаксиальной схеме из ВТСП проводника 1-го поколения производства Sumitomo, его прокладка была завершена к ноябрю 2013 г. Впервые ВТСП кабель будет работать совместно со сверхпроводниковым ограничителем тока (COT).

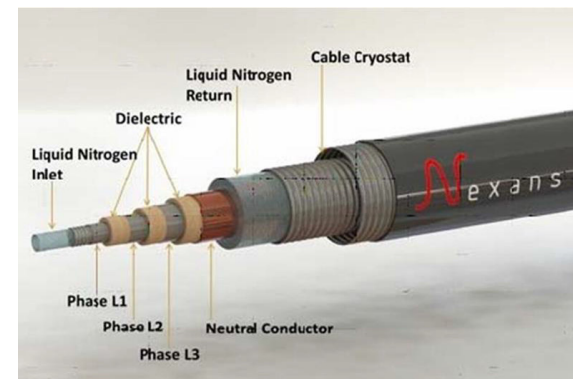


Рисунок 2 – Конструкция ВТСП кабеля компании Nexans (Германии)

ВТСП кабель (рисунок 2) был изготовлен компанией Nexans в Германии (г. Huerth). Проект поддержан исследовательским отделом Федерального министерства экономики и технологии Германии. Стоимость проекта оценивается в 13,5 млн. евро, включая долю правительства в 6 млн. евро.

Согласно оценке специалистов, ВТСП кабель позволит уменьшить количество трансформаторов в сети г. Эссен с 20 до 15. Согласно оценкам разработчиков, несмотря на необходимость охлаждения жидким азотом,

прокладка ВТСП кабеля и его эксплуатация в течение 40 лет будет дешевле, чем для обычной высоковольтной линии. После прокладки на кабеле в течение двух лет будут проводиться исследования [2].

Японская компания Sumitomo Electric Industries, сообщила (октябрь 2012 г.) о начале производства и поставке в Германию 80 км ВТСП провода марки HT-CA DI-BSCCO для изготовления компанией Nexans трехфазного коаксиального кабеля для проекта «AmraCity».

В 2013 г. компании Nexans и RWE Deutschland AG завершили первый этап проекта «AmraCity». В высоковольтной лаборатории фирмы Nexans была успешно испытана серия прототипов 10 кВ ВТСП кабеля. Он выдерживал единовременное семикратное превышение номинального напряжения, а при длительных нагрузках – трехкратное превышение рабочего напряжения. Также были испытаны компактные соединительные и концевые муфты.

Commercial Edison (ComEd) – чикагское подразделение крупной электроэнергетической компании Exelon Corporation и American Superconductor (AMSC) объявили о намерении проложить в центре города подземную распределительную сеть ВТСП кабелей длиной более трех миль (около 5 км). На осуществление проекта Министерство национальной безопасности (Department of Homeland Security, DHS) выделяет 60 млн. долларов. По мнению участников проекта, потребуются дополнительные вложения, которые можно получить из средств (2,6 млрд. долларов) целевой программы модернизации электросетей, осуществляемой в США с 2012 года. Следует отметить, что стоимость восстановительных работ после аварий в электросетях США, по оценке Министерства энергетики, составляла от 18 до 33 млрд. долларов в год. На первый этап – оценки масштаба работ – DHS выделило 1,5 млн. долларов. Завершенный, согласно плану, через 3,5 года пяти километровый ВТСП кабель будет не только самым масштабным из действующих, но и его первым коммерческим воплощением в США.

В 2014 г. в Японии для разработки сверхпроводниковых кабелей постоянного тока была создана ассоциация из 3-х компаний (Chiyoda Corp, Sumitomo Electric Industries Ltd, Sakura Internet Inc) и университета Chubu.

В г. Исикари (о. Хоккайдо) была успешно испытана кабельная линия постоянного тока из ВТСП-1 длиной 500 метров с передаваемой мощностью 100 МВт и рабочим током 1,5 кА. Криостат ВТСП кабеля изготовлен по новой технологии, позволяющей в два раза сократить приток тепла в криогенный объем. ВТСП кабель впервые в Японии проложен под шоссе. При эксплуатационных испытаниях по ВТСП кабелю в Датацентр Sakura Internet будет передаваться энергия от солнечной электростанции. ВТСП кабель будет работать практически без нагрузки, так как мощность солнечной электростанции не превышает 200 кВт. К марту 2018 г. планируется ввести в строй ВТСП кабель постоянного тока длиной 2 км, который соединит тот

же Датацентр с трансформаторной подстанцией компании Hokkaido Electric Power [3].

ВТСП силовые трансформаторы. ВТСП трансформаторы по сравнению с традиционными обладают целым рядом значительных технических преимуществ. Эти преимущества (некоторые отмечены в выводах статьи) позволяют применять ВТСП трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструкционных изменений со значительным увеличением мощности.

Трансформатор мощностью 1 МВ·А на основе ВТСП токонесущего элемента типа Roebel, разработанный и изготовленный в институте Робинсона университета Виктория (Веллингтон) успешно прошел предварительные испытания (рисунок 3). Токонесущий элемент изготовлен компанией GCS (Новая Зеландия) из ВТСП проводника 2-го поколения производства SuperPower и STI (США). На эксплуатационных испытаниях в г. Крайстчерч (Новая Зеландия) достигнут рабочий ток вторичной обмотки в 1390 А, а измеренная величина потерь была в два раза ниже, чем у традиционных трансформаторов.



Рисунок 3 – Трехфазный ВТСП трансформатор мощностью 1 МВ·А

Первичные обмотки трансформатора рассчитаны на напряжение 11 кВ, а вторичные обмотки на – 415 В. Рабочая температура трансформатора составляет 70 К. Охлаждение производится переохлажденным азотом с использованием двух криокулеров хладопроизводительностью по 500 Вт. Низковольтные обмотки – однослойные, выполнены из 20 витков (19,6 м) 15/5 ВТСП токонесущего элемента типа Ребель (действующее значение рабочего тока 1390 А). Высоковольтные обмотки трансформатора выполнены в виде 24 двойных галет, намотанных из ВТСП ленты SuperPower в каптоновой изоляции шириной 4 мм. Всего в высоковольтных обмотках по

918 витков (расход проводника 980 м, действующее значение тока 30 А). Ориентировочная стоимость коммерческого образца ВТСП трансформатора составит около 40 тыс. долларов.

Китайская компания Tebian Electric Apparatus (ТВЕА) разработала и изготовила трехфазный ВТСП трансформатор мощностью 630 кВ·А. Рабочие напряжения и токи первичной и вторичной обмоток трансформатора составили 10,5 кВ/0,4 кВ и 34,6 А/909,3 А. ВТСП трансформатор был установлен и прошел эксплуатационные испытания в сети китайского города Чангджи, Синьцзян (рисунок 4).

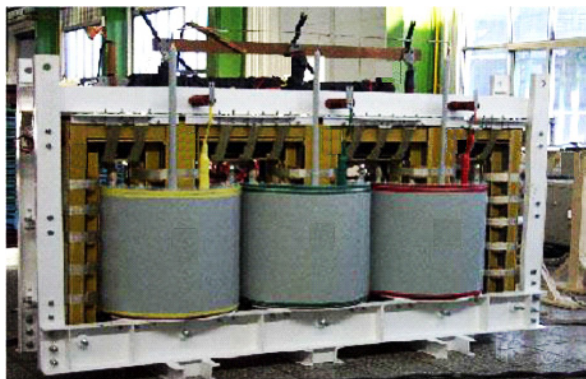


Рисунок 4 – Трехфазный ВТСП трансформатор мощностью 630 кВ·А

Для намотки трансформатора был использован Вi 2223 усиленный нержавеющей сталью проводник производства AMSC. Первичная обмотка трансформатора – слоевая, намотана в восемь слоев, вторичная обмотка выполнена в виде 23 параллельно соединенных двойных галет. Обмотки фаз трансформатора размещаются в заполненных жидким азотом стеклопластиковых криостатах. В номинальном режиме работы потери на переменном токе в ВТСП обмотках составили 110,7 Вт, что достаточно хорошо совпадает с расчетом (121 Вт). Гистерезисные потери вносят доминирующий вклад: на потери от вихревых токов и перетекания приходится менее 9 %. Полный КПД трансформатора составил 98,1 % [4].

Исследовательская группа из организации (NEDO) New Energy and Industrial Technology Development Organization в составе: Kyushu Electric Power Co., Fuji Electric Co., Taiyo Nippon Sanso Co., International Superconductivity Technology Center (ISTEC), Fujikura, Showa Cable Systems Co., Kyushu University, Iwate University и Japan Fine Ceramics Center (JFCC), Япония разработала и создала один из самых мощных на сегодня ВТСП трансформаторов, мощность которого составляет 2 МВ·А. Данный ВТСП

трансформатор был изготовлен из ВТСП ленты 2го поколения и является уменьшенной моделью перспективного трехфазного ВТСП трансформатора на 20 МВ·А. Работа выполнялась в кооперации большого числа исследовательских организаций и компаний: International Superconductivity Technology Center (ISTEC), Fujikura Ltd, Kyushi Electronic Power Co., Showa Cable Systems Co.

В 2012 г. было начато создание опытного образца трехфазного ВТСП трансформатора мощностью 2 МВ·А и рабочими напряжениями 66 кВ и 6,9 кВ, который станет прототипом ВТСП трансформатора на 20 МВ·А. Коэффициент трансформации, напряжения первичной и вторичной обмоток, падение напряжение на виток, конструкция магнитопровода и криостатов у опытного образца ВТСП трансформатора на 2 МВ·А в точности такие же, как и у трансформатора на 20 МВ·А.

Первичная обмотка ВТСП трансформатора на 2 МВ·А намотана из одиночной ВТСП ленты 2-го поколения (шириной 5,3 мм и толщиной 0,35 мм, проводник дополнительно стабилизирован), номинальный ток в первичной обмотке – 17,5 А. Номинальный ток во вторичной обмотке составляет 167 А, намотка производится восемью параллельными ВТСП лентами (4 слоя по 2 ленты в каждом слое). Расход ВТСП проводника для создания трансформатора на 2 МВ·А составляет около 10 км. Для охлаждения трансформатора используется переохлажденный жидкий азот при температуре 67-68 К. Холодопроизводительность системы криогенного обеспечения составляет около 2 кВт, что относительно немного для подобной системы.

ВТСП электродвигатели. ВТСП технологии активно используются в электрических двигателях.



Рисунок 5 – Прототип ВТСП электродвигателя мощностью 1 МВт

Большинство разработок зарубежных ВТСП электрических двигателей в настоящее время опирается на концепцию использования в индукторе машины композитных ленточных ВТСП проводов 1-го поколения (соединения Bi-2223) и ВТСП проводов 2-го поколения с тонкими YBCO пленками и проводами на основе соединения MgB₂. Уже сейчас создан ряд крупных электрических двигателей и генераторов большой мощности. Так, например, в США разработан прототип ВТСП электропривода морских судов мощностью 36,5 МВт и бортовой авиационный ВТСП генератор мощностью ~ 1 МВ·А. В Германии фирмой Siemens создан ВТСП двигатель мощностью ~ 4 МВт.

В 2012 г. Китайская Судостроительная Корпорация разработала и испытала ВТСП электродвигатель мощностью 1 МВт, который можно использовать для привода гребного винта через редуктор (рисунок 5). Электродвигатель выполнен со сверхпроводниковым ротором: шесть полюсов с ВТСП обмотками из Bi-2223 проводника. Рабочая температура ротора 35-40 К, охлаждение осуществляется газообразным гелием. Скорость вращения ротора достигает 1000 оборотов в минуту, КПД при полной мощности составляет 95 %. Статор электродвигателя – медный с водяным охлаждением [4].

Разработки криогенных электрических двигателей с массивными ВТСП элементами из YBCO керамики с охлаждением жидким азотом (77 К) ведутся в МАИ в Центре сверхпроводниковых электрических машин и устройств в кооперации с ведущими научными центрами России и Германии (ВНИИНМ им. Бочвара, ВЭИ, НИИЭМ (Истра), ОАО «АКБ Якорь», IPHT (Йена, Германия), IFW (Дрезден, Германия), «Oswald Elektromotoren GmbH» (Мильтенберг, Германия).

В рамках германо-российского проекта «High Dynamic HTS Motor» фирмой «Oswald Elektromotoren GmbH» совместно с МАИ разработан, изготовлен и проходит технологические испытания высокооборотный 4-х полюсный ВТСП синхронный двигатель мощностью ~ 500 кВт с радиальными редкоземельными магнитами и массивными YBCO элементами в роторе [5].

ВТСП индуктивные накопители энергии. Сверхпроводниковые индуктивные накопители (СПИН) энергоёмкостью 108-109 Дж рассматриваются как одно из эффективных средств повышения устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС). На индуктивные накопители энергоёмкостью ~ 109 Дж могут быть возложены задачи увеличения пределов передаваемой мощности линии по условиям статической и динамической устойчивости, сглаживания нерегулярных колебаний по линиям, связывающим ЭЭС, демпфирования электромеханических процессов в генераторах в послеаварийных режимах, обеспечения режимов глубокого

потребления и выдачи реактивной мощности в узел ЭЭС для обеспечения условий нормализации напряжения и т.д. [6].

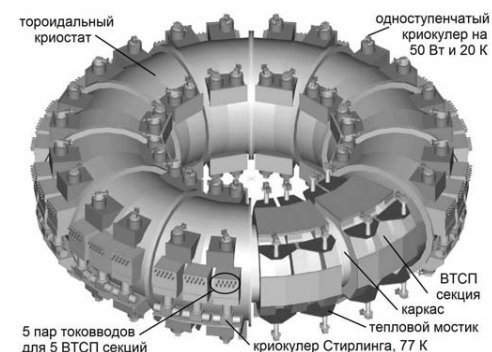


Рисунок 6 – Проект ВТСП СПИН на 2 ГДж, 100 МВ·А

Японские специалисты из компании Chubu Electric Power совместно с Mitsubishi Heavy Industries и Kyoto University подготовили проект сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии для сглаживания неоднородностей потребления электроэнергии и увеличения стабильности энергосистемы [7]. Выходная мощность устройства будет составлять 100 МВ·А, а запасенная энергия – 2 ГДж. Технологии, необходимые для практической реализации СПИН, разрабатываются в проекте М-РАСС. Общий вид СПИН на 2 ГДж представлен на рисунке 6.

Основным элементом системы является катушка тороидального типа, состоящая из 180 отдельных ВТСП секций. Обмотки секций СПИН специалисты планируют изготавливать из четырех параллельных YBCO лент шириной 10 мм производства компании Chubu Electric Power с критическим током в 300 А (77 К в собственном поле). Отличительной особенностью этой ленты являются прекрасные механические характеристики. Благодаря использованию высокопрочной подложки из хастеллоя толщиной 0,1 мм в ней не происходит деградации критических свойств даже при растягивающих механических напряжениях в 1 ГПа.

Вышеизложенный материал дает основание сделать следующий вывод: из основных эксплуатационных и экологических преимуществ силового электрооборудования на базе ВТСП следует указать, что

- снижаются нагрузочные потери силовых трансформаторов при номинальном токе на 90 %, что увеличивает их КПД;
- увеличивается перегрузочная способность силовых трансформаторов без старения и повреждения изоляции;

- значительно уменьшается реактивное сопротивление силовых трансформаторов, что позволяет обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию;
- уменьшаются вес и габариты силовых трансформаторов до 40 %;
- предоставляется возможность исключить из конструкции силовых трансформаторов громоздкие системы охлаждения;
- уменьшается уровень шума, пожаробезопасность и экологичность;
- имеется возможность работы в режиме глубокой несимметрии токов (до 15-20 %);
- снижается металлоёмкость единичного устройства (в 2-4 раза), увеличивается (в 1,5-2 раза) выходная мощность, уменьшаются затраты, связанные с эксплуатацией и производством новых типов электрических двигателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Елагин, П. В., Щербаков, В. И.** Сверхпроводниковые кабели: от лабораторных макетов к полупромышленным образцам // КАБЕЛЬ-news. – 2009. – № 12-1. – С. 70-80.
- 2 Сверхпроводники для электроэнергетики. Информационный бюллетень. – 2014. – Том 11. – Выпуск 4. – С. 1-2.
- 3 Сверхпроводники для электроэнергетики. Информационный бюллетень. – 2015. – Том 12. – Выпуск 5. – С. 1.
- 4 Сверхпроводники для электроэнергетики. Информационный бюллетень. – 2015. – Том 12. – Выпуск 3. – С. 10-11.
- 5 Сверхпроводники для электроэнергетики. Информационный бюллетень. – 2007. – Том 4. – Выпуск 6. – С. 1-4.
- 6 **Глускин, И. З.** Сверхпроводниковые токоограничивающие устройства и индуктивные накопители энергии для электроэнергетических систем/ И. З. Глускин, Г. А. Дмитриева, М. Ш. Мисриханов. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 373 с.
- 7 Сверхпроводники для электроэнергетики. Информационный бюллетень. – 2012. – Том 9. – Выпуск 2. – С. 1-11.

Материал поступил в редакцию 04.02.16.

А. Б. Буpezжанова, М. А. Зингер, К. В. Клементьева, И. В. Захаров
Электрэнергетикалық қондырғыларда жоғары температуралық асқын өткізгіштікті қолдану

С. Торайғыров атындағы
 Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
 Материал 04.02.16 баспаға түсті.

A. Bupezhanova, M. Zinger, K. Klementyeva, I. Zakharov
Application of high temperature superconductivity in electric power devices

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
 Material received on 04.02.16.

Қуштік электрэнергетиканың техникалық қондырғыларының кең диапазонында жоғары температуралық асқын өткізгіштікті қолданудың талдауы берілген.

There is the analysis of the application of high-temperature superconductivity in a wide range of technical devices of power electrical engineering.

УДК 621.3

А. Ж. Динмуханбетова¹, Ж. Ж. Дюсенова²

¹магистр техники и технологий, ст. преподаватель; ²магистр техники и технологий, ст. преподаватель, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар
 e-mail: ¹ardi100909; ²zhenisgull@mail.ru

ИННОВАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОВОДОВ

В статье рассмотрены вопросы увеличения пропускной способности линий электропередач, рассмотрены различные варианты применяемых проводов.

Ключевые слова: линия электропередач, пропускная способность, потери, энергопотребление.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение пропускной способности ЛЭП возможно осуществить путем: строительства новых ЛЭП переменного и постоянного тока; модернизации существующих ЛЭП; использования существующих ЛЭП в режимах, более близких к предельно допустимым по нагреву.

Наиболее перспективными способами увеличения пропускной способности ЛЭП являются инновационные технологии в производстве проводов. Увеличение пропускной способности достигает 2 и 2,5 раз для термостойких проводов, а прорывные проекты со сверхпроводимостью еще более увеличивают возможности ЛЭП.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В статье [1] приведены результаты анализа технических решений по повышению пропускной способности ВЛ 110-220 кВ. Задача существенного повышения передаваемой мощности воздушных линий, по возможности, избегая строительства новых линий, полной перестройки существующих линий, подвески новых цепей и т.д.

С этой целью в [1] рассмотрены решения по обеспечению увеличения пропускной токовой способности имеющихся линий за счёт применения специальных проводов. Сформулированы основные требования, предъявляемые к современным проводам: максимально высокая электропроводность; максимально высокая механическая прочность; низкий вес; устойчивость к высоким температурам; малые температурные удлинения; устойчивость к старению и ветровым воздействиям. При этом отмечается, что условия выполнения указанных требований являются взаимоисключающими. Например, наилучшая электропроводность обеспечивается при наивысшей чистоте алюминия, но при этом значительно снижается прочность. Поэтому для получения необходимой температурной устойчивости рассматривалось применение дисперсионно-твердеющих материалов, циркониевых сплавов, композитных и других материалов, получение и внедрение волокон оксида алюминия.

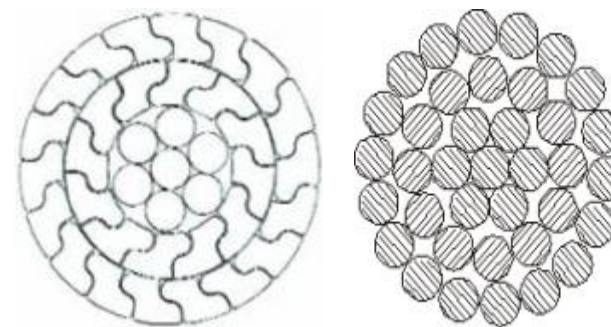
На мировом рынке в сфере производства классических и специальных типов проводов выступают несколько десятков компаний. Актуальные поставщики: Nexans, Бельгия – провод AERO-Z; Lumpi-Berndorf, Австрия – провода TACSR/ACS и TACSR/HICIN; J-Power Systems, Япония – провода GTACSR.

В статьях [1] приводятся результаты сравнения проводов по основным характеристикам.

Провода марки AERO-Z

Новые высокотехнологичные провода для линий электропередачи 110 – 1150 кВ Aero-Z® представляют собой полностью связанные между собой проводники, которые состоят из одного или нескольких концентрических слоев круглых проволок (внутренние слои) и проволок в виде буквы «Z» (внешние слои). Каждый слой провода имеет скрутку по длине, выполненную с определенным шагом.

На рисунке 1 [2] приведено поперечное сечение проводов AERO-Z (а) и традиционных AC (б).



а) AERO-Z б) провод AC
Рисунок 1 – Поперечное сечение проводов AERO-Z (а) и AC (б)

Внутренняя часть провода Aero-Z® аналогична обычному проводу типа AC за исключением того, что внутренние проводники могут быть изготовлены не только из стали, но и из алюминия или алюминиевых сплавов [2]. Более того, один или несколько проводников могут быть полыми и содержать внутри оптические волокна. Внешние же слои провода выполняются из алюминиевых проводников, имеющих форму буквы «Z», причем проводники очень плотно прилегают друг к другу. Таким образом, за счет более плотной скрутки проводников и более гладкой внешней поверхности возможно использование более тонких и более легких проводов (без стального сердечника). Это приводит к снижению электрических потерь в проводах на 10-15 %, включая потери на корону, и повышению механической прочности конструкции. Также достигается значительное уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления наиболее сильным ветрам. Такое уменьшение влечёт за собой меньшие механические напряжения в опорах при проводах равного диаметра или позволяет увеличить полезное электропроводящее сечение при равных механических напряжениях в опорах. Кроме того эти провода лучше противостоят снегу и обледенению.

Из приведенных в статье [2] данных можно рассчитать, что относительное увеличение площади сечения проводника составит 40-50 %, а снижение электросопротивления 20-25 %.

Недостатком провода AERO-Z является высокая стоимость (примерно в шесть раз выше по сравнению с проводом AC), а также низкая допустимая рабочая температура – не выше 80 °С.

Провода TACSR/ACS и TACSR/HICIN

Для проводов TACSR/ACS и TACSR/HICIN увеличение пропускной способности обеспечивается их большей рабочей температурой [3].

Эти провода устойчивы к высокой температуре, могут в условиях продолжительного времени нести более высокую токовую нагрузку, чем традиционные сталеалюминиевые провода. По конструкции напоминают классические провода АС: сердечник и токопроводящие повивы, рисунок 2.

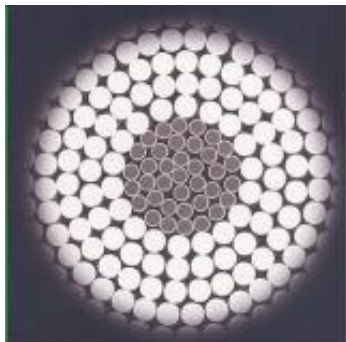


Рисунок 2 – Структура провода TACSR/ACS «Lumpi-Berndorf», Австрия

Отличия в конструкции состоят в использованных материалах. Токопроводящие повивы высокотемпературных проводов сделаны из специального термостойкого алюминия ТА либо сверхтермостойкого сплава ZTA.

Оба сплава ТА и ZTA состоят из чистого алюминия с добавкой циркония, сплав ZTA имеет большее количество циркония. Цирконий позволяет повысить температуру рекристаллизации основного компонента – алюминия. В результате, токопроводящие проволоки сохраняют все механические и электрические характеристики при нагревах, если рабочая температура долгосрочного нагрева для обычного сталеалюминиевого провода составляет 80 °С, то для ТА – 150 °С и ZTA – 210 °С.

Для повышения прочностных свойств и уменьшения стрел провеса провода применяется специальный сталеникелевый сплав инвар (INVAR) с нанесением на его поверхность алюминиевого покрытия. Использование термоустойчивого алюминия как токонесущей части провода дает возможность увеличить пропускную способность линии в полтора раза, а применение супертермоустойчивого сплава в два раза.

При этом линии, работающие в штатном режиме при температуре проводов 150 °С или 210 °С, не подвержены отложению гололеда, что означает как резкое снижение вероятности возникновения пляски, так и уменьшение пиковых нагрузок на опоры, также провода TACSR/HACIN по конструкции не отличаются от классических проводов, что позволяет использовать все известные типы арматуры, методы работы и монтажа этого

провода идентичны методикам для классического провода АС. Не требуется новых технологий, устройств и обучения персонала. По приведенным в статье данным ток возрастает в 1,41–1,93 раз по сравнению с проводом АС, а стоимость в 1,48 и приблизительно 3-4 раза.

Провода GTACSR

GTACSR («Gapped» TAL alloy Aluminium Conductor Steel Reinforced) – это провод с зазором (gap в пер. с англ. зазор), изготовленный из алюминиевых сплавов, стойких к высоким температурам. Увеличение пропускной способности обеспечивается также как и провода TACSR/ACS и TACSR/HACIN «Lumpi Berndorf» большей рабочей температурой. Их особенность заключается в том, что между токопроводящими слоями провода и стальным сердечником имеется зазор, поэтому называется «провод с зазором», на рисунке 3 показано поперечное сечение провода.

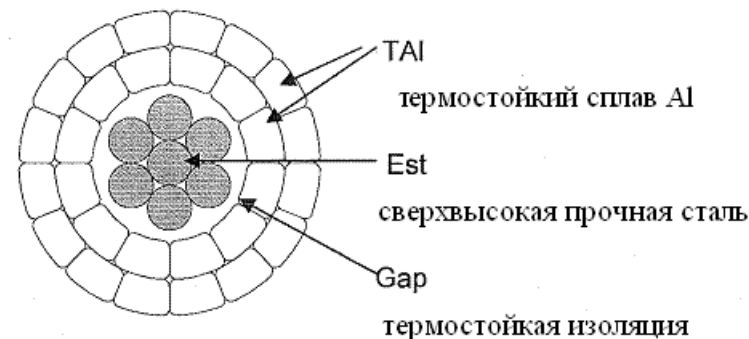


Рисунок 3 - Поперечное сечение провода GTACSR

Алюминиевые проводники внутреннего слоя, ближайшего к сердечнику, имеют трапециевидное сечение. Внутренний слой изготовлен таким образом, что между ним и стальным сердечником есть зазор, заполненный смазкой, стойкой к воздействию температуры. Такая конструкция обеспечивает скольжение алюминиевых слоев относительно стального сердечника, за счет чего GTACSR провод можно натянуть, только зафиксировав стальной сердечник. Преимущества такой конструкции состоят в том, что при монтаже и дальнейшей эксплуатации всё тяжение приходится на стальной сердечник, и, соответственно, коэффициент расширения и модуль упругости провода как целого совпадают с характеристиками стали. Провод значительно меньше подвержен удлинению за счет возрастания температуры. При рабочих температурах (~150 °С) стрела провеса провода ощутимо меньше, чем для любых других проводов (при той же температуре). Это неоспоримое преимущество данного провода. Сочетание перечисленных преимуществ,

плюс высокая пропускная способность делают этот провод наиболее развитым в техническом отношении. Однако отмечают и вытекающие из конструкции провода недостатки: провод сложной конструкции; технология монтажа провода весьма сложна; необходимо специальное оборудование и обученный персонал. Предъявляются жесткие требования к пролетам – не более 3 поддерживающих опор в анкерном участке; ремонт провода превращается в очень сложное мероприятие; стоимость провода высока ~400 % по сравнению с проводом АС. Но есть еще один положительный момент: реконструкция с заменой опор достаточно длительна и требует привлечения сторонней строительной организации (фирмы), а реконструкцию с проводом GTACSR электросетевая компания может выполнить своими силами.

Однако в [4] отмечается, что у проводов GTACSR более высокие потери по сравнению с обычными проводами. Применение такого провода экономически оправдано при высоком темпе роста нагрузки, по расчетам специалистов при росте нагрузки на 4 % в год срок окупаемости повышенных капиталовложений при реконструкции будут покрыты затратами на дополнительные потери через 10-15 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, необходимо отметить, что в условиях роста экономики, и, соответственно роста потребления и производства электроэнергии в Республике Казахстан на сегодняшний день проблема повышения пропускной способности линий электропередачи очень актуальна.

Решения данной проблемы, возможно строительством новых линий и модернизацией/реконструкцией уже имеющихся. Однако во избежании этих методов, имеется возможность применения специальных проводов, которые значительно увеличивают пропускную способность линий электропередач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Повышение пропускной способности ВЛ 110-220 кВ. Анализ технических решений. Рыжов С. В., к.т.н, главный специалист ЗАО «Электросетьстройпроект», Колосов С. В., к.т.н., главный специалист ЗАО «Электросетьстройпроект»

2 **Посталатий, В. М., Быкова, Е. В., Тимашова, Л. В., Шакарян, Ю. Г.** Повышение пропускной способности и управляемости электропередач переменного тока. cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-propusknoy-sposobnosti-i-upravlyaemosti-elektroperedach-peremennogo-toka.

3 **Шакарян, Ю. Г.** Управляемые (гибкие) системы передачи переменного тока...fsk-ees.ru/common/img/uploaded/managed_systems.pdf

4 **Шевченко, Н. Ю., Сошинов, А. Г., Бахтиаров, К. Н.** Инновационные технологии повышения эффективности работы систем передачи и распределения электрической энергии. // Инновационные технологии в обучении и производстве: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, г. Камышин, 23-25 ноября 2011 г. с. 91-94.

Материал поступил в редакцию 29.02.16.

А. Ж. Динмуханбетова, Ж. Ж. Дюсенова

Сым өндірісіндегі инновациялар

С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан.

Материал 29.02.16 баспаға түсті.

A. Zh. Dinmukhanbetova, Zh. Zh. Djussenova

Innovation in cables production

S.Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 29.02.16.

Мақалада электр сымдарының өткізу қабілеттерінің ұлаюы мәселелері, сымдары қолданудың әртүрлі нұсқаулары қарастырылған.

The paper deals with increasing the capacity of transmission lines, discusses various options of applied cables.

А. М. Достияров¹, Г. М. Тютеебаева², Д. Р. Умышев³

¹д.т.н., профессор; ²к.т.н., и.о. доцента, Евразийский национальный университет имени Л. Гумилева, г. Астана; ³магистрант, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы
e-mail: ¹Dost51@mail.ru; ²Galia_t59@rambler.ru; ³umishev_d@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УГОЛКОВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

В статье представлены результаты экспериментального исследования уголковых стабилизаторов. Приведены зависимости абсолютного расхода воздуха в зону рециркуляции, длины факела и других показателей в зависимости от размеров и типа уголковых стабилизаторов. Дополнительно было проведено численное моделирование процесса горения, которое позволило провести более глубокое и наглядное исследование.

Ключевые слова: микрофакельное сжигание, камера сгорания, уголковый стабилизатор, горелочное устройство

ВВЕДЕНИЕ

Плохообтекаемые тела вновь вызвали интерес в научном мире и это связано с созданием современных микрофакельных камер сгорания ГТД. Одним из принципов микрофакельного сжигания считается использования горелок без разделения воздуха на первичный и вторичный [1]. В таких случаях удастся снизить размеры камер сгорания, снизить концентрации оксидов азота и обеспечить высокую полноту сгорания. Камеры сгорания с уголковыми стабилизаторами относятся к таким способам.

Изучению процессов горения за плохообтекаемыми телами посвящено достаточно много работ [2-20]. Ballaland Lefebvre [2,3,4] изучали влияние различных начальных параметров и типов топлива на процессы стабилизации за плохообтекаемым телом. Из эксперимента выяснилось, что на срыв пламени сильно влияют процессы, происходящие за уголком, т.е. время нахождения газов в рециркуляционной зоне и горения газов. В работе [4] приведены результаты влияния угла раскрытия уголков и числа Маха на процессы стабилизации пламени. Было показано, что увеличение угла до 90 градусов при относительно малых числах Маха достигается минимальные значения срыва. Согласно [2], со снижением скорости подачи топлива, соответственно снижение интенсивности турбулентности, увеличение размеров стабилизатора приводят к улучшению стабилизационных характеристик пламени.

Экспериментальные работы [6-8] проведенные с водородным топливом показали, что с увеличением концентрации топлива предел срыва увеличивается. А температура газов вначале увеличивается, а затем снижается. Эксперименты по изучению влияния вихрей [9] на процесс стабилизации показал, что увеличение закрутки увеличивает тепломассообмен в застabilизаторной зоне. Изучение процессов срыва [10] показали, что при бедном срыве, свежая смесь реагирующих веществ входит в рециркуляционную зону, при этом само пламя сильно расчленяется (фрагментируется) и часть пламени находится на краю плохообтекаемого тела. Похожие результаты были получены при исследовании срыва за стабилизатором предварительно перемешанного топлива [11]. При приближении к границам срыва, форма пламени изменялась, а также изменялась форма конечного участка пламени.

В работе [12] изучался процесс стабилизация пламени за плохообтекаемым телом при ламинарном течении для различных материалов. Показано что пламя предварительно перемешанного топлива стабилизируется там, где находятся наиболее подходящие условия для зажигания пламени. Такой регион обладает высокой температурой из-за высокого тепломассообмена между плохообтекаемым телом и реагирующим потоком.

Влияние различных размеров уголковых стабилизаторов и скорости воздуха на процесс стабилизации и расположения основы факела (flamebase) было исследовано в работе [13]. Результаты говорят о том, что при малых размерах стабилизатора основа факела находится за рециркуляционной зоной, а ее расположение меняется ниже по потоку с увеличением скорости воздуха. При больших размерах стабилизаторов, за ним имеются две основы факела. Причем увеличение скорости приводит к тому, что основа пламени двигается вверх по течению, а рециркуляционная зона вниз.

Влияние способа подачи [14] топлива на процесс стабилизации при помощи треугольного стабилизатора показал, что быстрый вход реагирующих веществ в рециркуляционную зону приводит к бедному срыву.

Большой вклад в исследование процессов горения за плохообтекаемыми телами был внесен советскими авторами. В работах [15-20] исследовались различные варианты уголков, треугольников и способов подачи топлива за уголковые стабилизаторы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходя из представленных материалов, можно сделать вывод, что при использовании плохообтекаемых тел, особенно важно знать количество поступающего воздуха в зону рециркуляции, так как от этого зависит количество топлива, которое может быть эффективно сожжено за стабилизатором. При увеличении скорости до предела срыва происходит

сокращение пламени и формы рециркуляционной зоны. Срыв пламени за плохообтекаемыми телами, в частности угловых стабилизаторов происходит в основном за счет сокращения времени контакта горючей смеси с газами зоны обратных токов. Интенсификация течения, в том числе в зоне обратных токов, приводит к интенсивному отбору теплоты от образующегося у кромки стабилизатора пламени в зону обратных токов раньше, чем горение успеет распространиться на весь поток.

Исходя из проанализированного материала, авторы провели экспериментальное исследование угловых стабилизаторов, с особым вниманием на процессы влияния расхода воздуха в зоне рециркуляции за стабилизаторами для отбора элемента микрофакельного устройства.

На рисунке 1 и 2 показаны экспериментальный стенд и различные варианты угловых стабилизаторов.

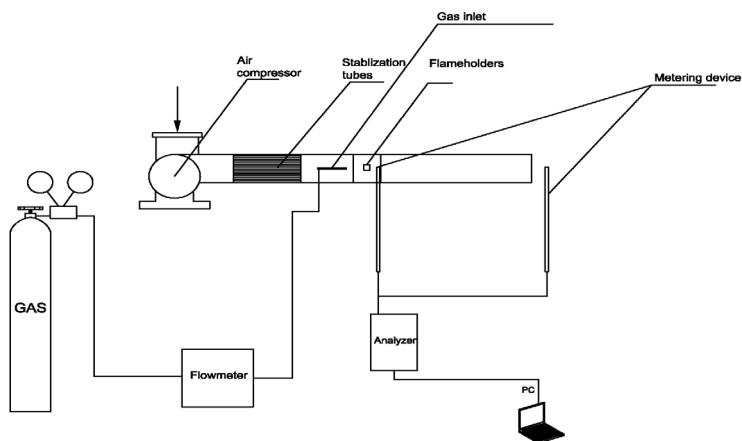


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд

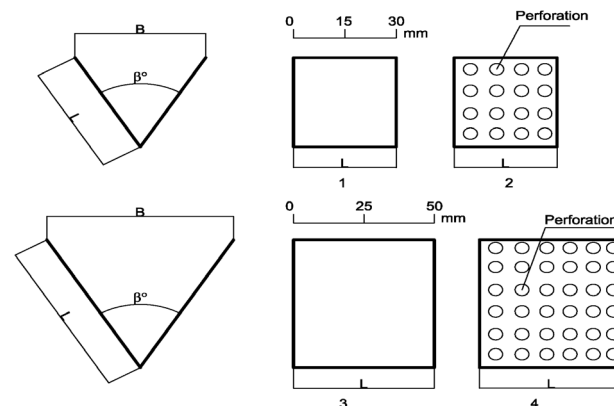


Рисунок 2 – Угловые стабилизаторы с углами 15, 45, 90 и с перфорацией

Абсолютный расход воздуха в рециркуляционную зону

Для определения абсолютного расхода воздуха в рециркуляционную зону была использована формула:

$$G_{rec} = \frac{G_{min}^{fuel} L_o V_{rec}}{\varphi L B O V_{flame} \omega F Y} \quad (1)$$

Зависимость абсолютного расхода воздуха в рециркуляционную зону за угловыми стабилизатором, в зависимости от ширины стабилизатора, представлена на рисунке 3. Максимальное значение абсолютного расхода воздуха в рециркуляционную зону достигается при использовании стандартного уголка (тип 1) и ширине 30 мм. Увеличение ширины до 35 мм привело к резкому снижению участия воздуха в рециркуляционной зоне.

Перфорированные уголки имеют меньшие значения абсолютного расхода воздуха в рециркуляционной зоне, однако, при ширине 35 мм, что равно углу 90°, виден некоторый рост. Причиной этого является увеличение сопротивления создаваемого стабилизатором за счет увеличения загромождения пространства. Данное обстоятельство приводит к более сильной крутке воздуха на кромках стабилизатора, что увеличивает объем воздуха в рециркуляционной зоне.

Следует отметить, что при использовании большого уголка (тип 3) во всех вариантах кроме ширины 60 мм пламя гасло после нескольких секунд.

Наименьшие значения расхода воздуха были получены при использовании больших перфорированных уголков (тип 4). Как видно из рисунка, минимальное значение достигается при ширине 30 мм, при дальнейшем увеличении ширины до 60 мм происходит некоторый рост.

Расход воздуха значительно зависит от ширины уголка, однако эта зависимость имеет сложный характер, при котором существует некоторое значение, после которого наблюдается резкое изменение, в случае со стандартными уголками это снижение, а в случае больших перфорированных уголков это повышение.

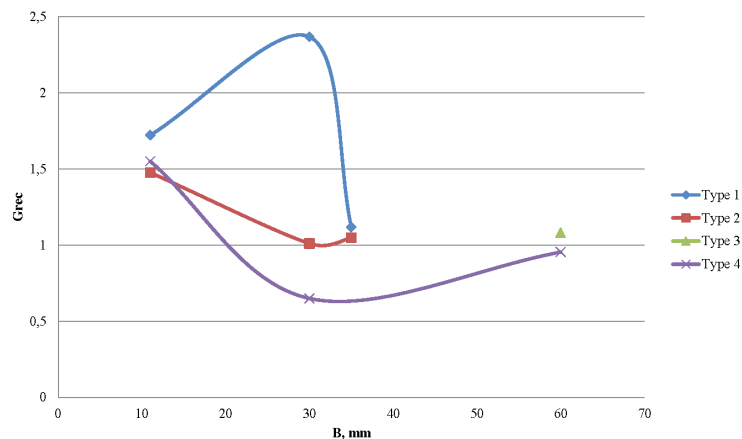


Рисунок 3 – Зависимость расхода воздуха вовлекаемого в ЗОТ (Gгрс) от ширины уголка

Длина факела

Зависимость комплекса относительной длины факела L/V от ширины стабилизатора представлена на рисунке 4. При использовании перфорированных уголков (тип 2) длина факела при ширине 11 мм достигает максимальных размеров. При увеличении ширины до 30 мм факел становится намного короче и значение комплекса L/V достигает значения ≈5. Аналогичная ситуация происходит со всеми тремя вариантами уголков. Однако наименьший размер имеет большой уголок с перфорацией (тип 4). Из графика следует, что отношение L/V зависит от ширины уголка и очень слабо зависит от типа уголка. Также видно, что независимо от типа уголка, с увеличением ширины стабилизатора, значение комплекса L/V стремится к одному значению ≈3.

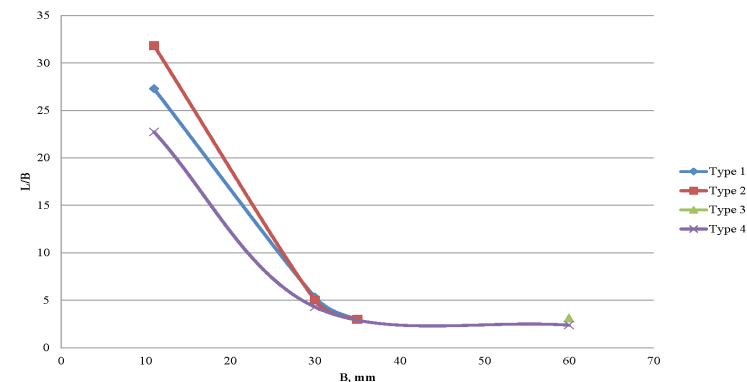


Рисунок 4 – Зависимость комплекса L/V от ширины уголка

Бедный срыв

Зависимость значений φ при бедном срыве от ширины стабилизатора представлена на рисунке 5. Так как в процессе горения участвует не весь воздух, то при расчете φ была использована следующая формула:

$$\varphi = \frac{m_{fuel}}{m_{air} \cdot 0.2} = \frac{4 \cdot m_{fuel}}{1.2 \cdot \omega \cdot \pi \cdot 3.14 \cdot F^2 \cdot 0.2} \quad (2)$$

При использовании стандартного уголка (тип 1) видно, что увеличение ширины стабилизатора приводит к расширению предела срыва. При использовании перфорированного уголка (тип 2) во всем диапазоне, кроме B = 35 мм, имеет показатели лучшие, чем у стандартного уголка. Однако при достижении ширины B=35 мм предел срыва снижается. Также видно, что использование больших перфорированных уголков (тип 4) приводит к заметному увеличению стабилизации факела. Значение концентраций топлива при использовании таких уголков, в несколько раз меньше, чем при использовании стандартных (тип 1,2). Также было замечено, что большой уголок без перфорации (тип 3) имеет очень плохие характеристики, так как пламя горело стабильно только при ширине стабилизаторов 60 мм.

Все теории стабилизации пламени говорят [2], что увеличение ширины стабилизаторов увеличивает пределы стабильного горения. Однако в канальной системе, где стенки ограничивают поток воздуха вокруг стабилизатора, что приводит к тому, что скорость воздуха выше чем она была бы в открытом пространстве. Такие обстоятельства приводят к тому, что ширина рециркуляционной зоны уменьшается. Можно сделать вывод, что увеличение загромождения путем увеличения размеров стабилизаторов или сужения канала приводит к снижению размеров рециркуляционной зоны,

что в свою очередь приведет к снижению стабильности. Что было замечено, при увеличении ширины стабилизаторов до 60 мм.

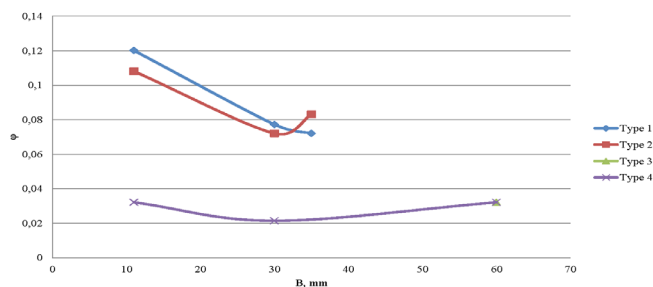


Рисунок 5 – Зависимость φ от ширины уголкового стабилизатора

Зависимость пределов бедного срыва от расхода воздуха в рециркуляционную зону представлена на рисунке 7. При использовании уголков типа 1 видно, что существует расход воздуха при котором достигается максимальное значение срыва, $G_{rec} \approx 1,7$. С увеличением расхода воздуха пределы срыва несколько снижаются. Характер зависимости для перфорированного уголка (тип 2) практически аналогичен. Максимальное значение φ срыва достигается при $G_{rec} \approx 1,5$. При использовании больших уголков (тип 3,4) видно, что пределы срыва при аналогичных значениях G_{rec} намного ниже. Максимальное значение срыва равно $\phi = 0,03$.

Из представленных данных можно сделать вывод, что существует значительная зависимость срыва от расхода воздуха в зону рециркуляции. При использовании больших перфорированных уголков (тип 4) пределы срыва значительно меньше зависят от абсолютного расхода воздуха в зону рециркуляции.

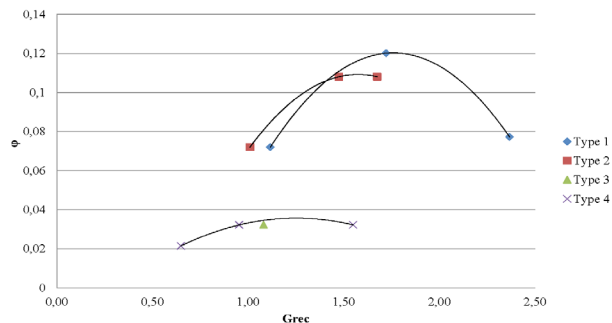


Рисунок 6 – зависимость φ от расхода воздуха в рециркуляционную зону

Теплонапряженность зоны горения

Для определения теплонапряженности было использовано уравнение, представленное в [18]:

$$q_v = \frac{Q_w^l \sqrt{\rho_g \omega_g} \sqrt{\rho_{air} \omega_{air}}}{(L_0 + 1) \cdot P \cdot L} \left(\frac{d}{B}\right)^{1.2} \quad (3)$$

Зависимость теплонапряженности от ширины уголкового стабилизатора представлена на рисунке 7. При использовании уголков типа 1,2 теплонапряженность не сильно зависит от ширины стабилизаторов и находится в районе 17000-14000 Вт/м³. Однако большой размер уголковых стабилизаторов приводит к заметному увеличению теплонапряженности. При ширине 11 мм q_v равно 38000, увеличение ширины до 60 мм снижают теплонапряженность до 3000-5000 Вт/м³.

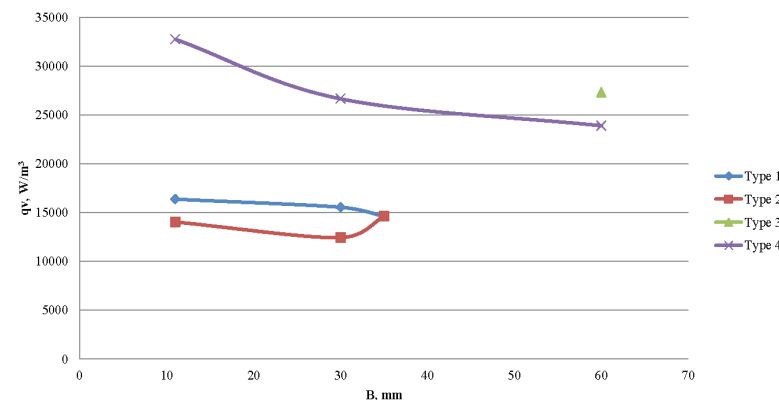


Рисунок 7 – Зависимость объемной теплонапряженности от ширины уголка

Высокая теплонапряженность факела подтверждает, что газ высокотурбулентными вихрями перемешивается по объему циркуляционной зоны образуя смесь, горящую в режиме, близком к горению готовых горючих смесей.

Структура пламени

Фотографии пламени за уголковыми стабилизаторами при различных вариантах ширины представлены на рисунке 9. Снимки делались при $\phi = 0,35$.

Как видно из рисунка, увеличение ширины уголка приводит к расширению рециркуляционной зоны. При ширине 35 мм факел имеет две зоны рециркуляции. Также видно, что существует тонкая

синяя линия, отрывающаяся от кромки уголка. Причем ее размер увеличивается с расстоянием. Сужение ширины уголка приводит к сужению рециркуляционной зоны и удлинению факела. При использовании перфорированных уголков, структура факела имеет схожую структуру. Однако в отличие от стандартных уголков (тип 1) в перфорированных уголках существует высокотемпературная ярко желтая линия.

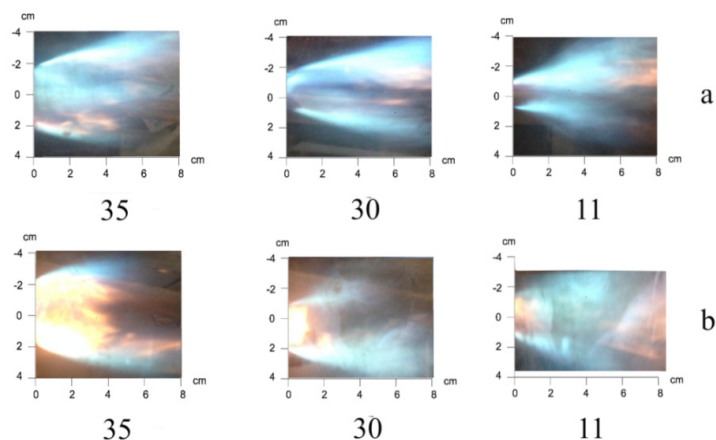


Рисунок 8 - Фотографии факелов при различных значениях ширины. а – тип 1, б – тип 2

Численное моделирование

Для подтверждения полученных результатов было проведено численное моделирование процесса горения за уголковыми стабилизаторами. Были получены контуры продольных скоростей, которые представлены на рисунке 9. Предполагается, что скорости ниже или равные нулю являются рециркуляционными зонами.

Как видно из рисунков, увеличение ширины стабилизатора приводит к увеличению рециркуляционной зоны. Причем при минимальной ширине поток практически не возмущен. Это показывают и результаты экспериментов. Увеличение ширины приводит к появлению отрицательных скоростей за стабилизаторами и увеличению скоростей на кромках уголков. Как видно из рисунков, максимальные значения скоростей достигают 20 м/с. Как было сказано выше [2], течение в канале приводит к тому, что скорости вокруг стабилизаторов имеют большие значения, что приводит к некоторому сужению рециркуляционной зоны.

Также замечена значительная разница между рециркуляционной зоной стандартного уголка (тип 1) и перфорированного (тип 2). При использовании

перфорированного уголка в самом уголке появляются зоны положительных и отрицательных скоростей, это позволяет более эффективно перемешивать топливо с воздухом. Также видно, что при ширине 35 мм, контуры скоростей вокруг уголков имеют более низкие значения, за счет того, что часть воздуха проникает в зону рециркуляции через перфорации. Снижение скорости вокруг уголка, согласно [2] приводит к увеличению пределов стабильной работы, что было доказано проведенным экспериментом.

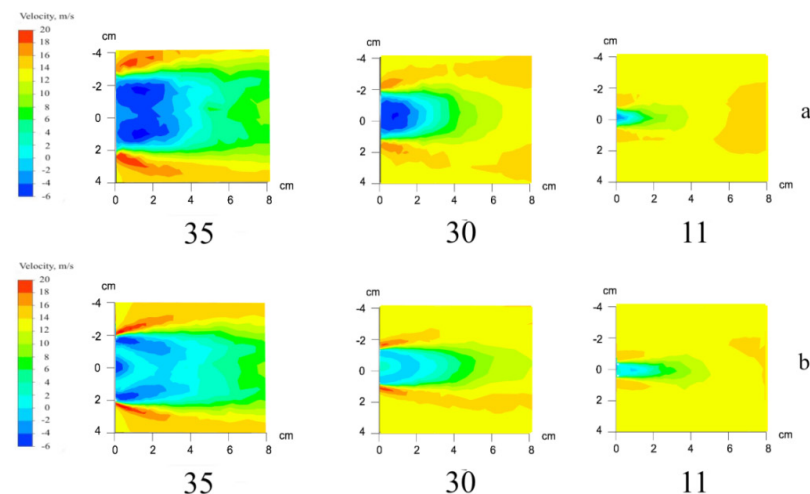


Рисунок 9 – Контуры скоростей при различных значениях ширины: а – тип 1, б – тип 2

ВЫВОДЫ

Проведены результаты экспериментальных исследований уголковых стабилизаторов. Были получены зависимости расхода газа, длины факела, интенсивности турбулентности, значения избытка воздуха на срыв факела, коэффициент потерь давления. По полученным данным можно сделать выводы, что значительное влияние на процесс стабилизации имеет количество воздуха находящегося в рециркуляционной зоне. Проведенные расчеты показали, что увеличение размеров стабилизаторов приводит к снижению относительного расхода воздуха в зону рециркуляции. Полученные зависимости срыва факела показывают, что перфорированные уголки обладают хорошими стабилизационными характеристиками.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании горелочных устройств, выполненных из уголковых стабилизаторов.

- 1 **Достяров, А. М. и др.** Авторские свидетельства СССР, №1140522
- 2 **Лефевр, А.** Процессы в камерах сгорания ГТД: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 566 с.
- 3 **Ballal, D. R., and Lefebvre, A. H.** «Weak Extinction Limits of Turbulent Flowing Mixtures.» *Journal of Engineering for Power.* – Vol. 101. – 1979. No. 3. – pp. 343-48.
- 4 **Ballal, D. R., and Lefebvre, A. H.** «Some Fundamental Aspects of Flame Stabilization.» *Fifth International Symposium on Air Breathing Engines. AIAA, Washington, DC, 1981.* – pp. 48.1-48.8.
- 5 **Barrère, M., and Mestre, A.** «Stabilisation des Flamme par des Obstacles.» *Selected Combustion Problems: Fundamentals and Aeronautical Applications.* – Butterworth, London, 1954. – P. 426–46,
- 6 **Aiwu Fan, Jianlong Wan, Yi Liu, Boming Pi, Hong Yao, Wei Liu.** Effect of bluff body shape on the blow-off limit of hydrogen/air flame in a planar micro-combustor. – *Applied Thermal Engineering*, 62. – 2014. – P. 13-19.
- 7 **Aiwu Fan, Jianlong Wan, Kaoru Maruta, Hong Yao, Wei Liu.** Interactions between heat transfer, flow field and flame stabilization in a micro-combustor with a bluff body. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 66. – 2013. – P. 72–79.
- 8 **Jianlong Wan, Aiwu Fan, Kaoru Maruta, Hong Yao, Wei Liu.** Experimental and numerical investigation on combustion characteristics of premixed hydrogen/air flame in a micro-combustor with a bluff body. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37. 2012. 19190-19197.
- 9 **Gan Dong, Zhiqiang Li, Zhihong Zhang.** Study on the Vortex Shedding Mechanism of Coupling Combustion Stabilizer with V-gutter and Strong Swirl Flow. 2014 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, APISAT 2014 September 24-26. Shanghai, China. – 2014.
- 10 **Dawson, J. R., Gordon, R. L., Kariukia, J., Mastorakos, E., Masrib, A. R., Juddoob, M.** Visualization of blow-off events in bluff-body stabilized turbulent premixed flames, *Proceedings of the Combustion Institute* Volume 33, Issue 1, 2011, Pages 1559–1566
- 11 **James Kariuki, James R. Dawson, Epaminondas Mastorakos.** Measurements in turbulent premixed bluff body flames close to blow-off. *Combustion and Flame.* – Volume 159, Issue 8, August 2012. – P. 2589-2607.
- 12 **Kushal S. Kedia, Ahmed F. Ghoniem.** The anchoring mechanism of a bluff-body stabilized laminar premixed flame. – *Combustion and Flame*, 161. – 2014. – P. 2327-2339.

- 13 **Fan Gong, Yong Huang, Xia Huang.** Size effect on the flame base locations after V-gutters for premixed flames. – *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 82. – 2015. – P. 406-418.
- 14 **Steven G. Tuttle, Swetaprovo Chaudhuri, Kristin M. Kopp-Vaughan, Trevor R. Jensen, Baki M. Cetegen, Michael W. Renfro, Jeffrey M. Cohen.** Lean blowoff behavior of asymmetrically-fueled bluff body-stabilized flames. – *Combustion and Flame*, 160, – 2013. – P. 1677–1692.
- 15 **Khristich, V. A., Litoshenko, V. N.** Investigation of the counter flow zone dimensions behind the system of corner flameholders. – *Herald of KPI. Thermal engineering series*, 5. – 1968. – P. 10-15 (in Russian).
- 16 **Butovskiy, L. S., Khristich, V. A.** The structure of mixing zone and particular qualities of burning behind triangle flameholder, in: *Theory and practice of gas burning.* – Leningrad, 1972. – P. 76-82 (in Russian).
- 17 **Khristich, V. A., Lyubchik, G. N.** About the stability of diffusional combustion behind flameholders. *Theory and practice of gas burning.* – Leningrad, 1972. – P. 82-85 (in Russian).
- 18 **Khristich, V. A., Lyubchik, G. N.** The influence of gas fuel type of combustion process of jet-stabilizer burners. *Theory and practice of gas burning*, Leningrad, 1972. – P. 12-132 (in Russian).
- 19 **Turns, S. R.** *An Introduction to Combustion.* Second ed. – McGraw-Hill, 2005. – P. 567.
- 20 **Пчелкин, Ю. М.** Камеры сгорания газотурбинных двигателей. – Москва, 1984.

Материал поступил в редакцию 15.01.16.

А. М. Достяров¹, Г. М. Тютеебаева¹, Д. Р. Умышев²

Газ турбиналардың жану камерасында қолданылатын үшбұрышты тұрақтандырғыштарды зерттеу нәтижелері

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.

²Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

Материал 15.01.16 баспаға түсті.

A. M. Dostiyarov¹, G. M. Tyutebayeva¹, D. R. Umyshev²

Results of experimental investigation of V-gutter flameholder for gas turbine combustion chambers

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana;

²Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty.

Material received on 15.01.16.

Мақалада үшбұрышты тұрақтандырғыштарды зерттеу нәтижелері келтірілген. Ауаның рециркуляция аймағына абсолют шығыны, факел ұзындығы және басқа көрсеткіштердің үшбұрышты тұрақтандырғыштардың өлшемдерінен және де түрінен тәуелділігі келтірілген. Қосымша жасалған жану үрдісінің сандық модельдеуі тәжірибе нәтижелерін терең талдауға және де көркемдеуге үлкен әсерін тигізді.

The article presents the results of an experimental study of V-gutter flameholders. The dependences of the absolute flow rate in the recirculation zone, flame length and other parameters depending on the size and type of corner stabilizers were presented. Additionally, the numerical simulation of the combustion process, which allowed deeper analysis and improved the presentation was conducted.

УДК 681.513.54

О. Н. Евсеенко

аспирант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина
e-mail: sendmeyouemail@mail.ru

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА И ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

В статье представлена обработка результатов эксперимента и поиск оптимальных параметров управления для поддержания заданной температуры с наименьшей ошибкой управления. В статье рассматривается прикладная сторона решения – практическое применение метода наименьших квадратов для аппроксимации поверхности и нахождение оптимального соотношения параметров управления. Представлены результаты эксперимента по выводу температуры объекта на определенный уровень и поддержанию заданной температуры. Установлено, что выбор большого значения интервала предсказания или большой мощности нагревателя ухудшают качество управления.

Ключевые слова: управление температурным полем, предсказывающий фильтр, ШИМ-регулирование, эксперимент, метод наименьших квадратов.

ВВЕДЕНИЕ

Зона нечувствительности или транспортное запаздывание (dead time) [1] часто присутствует в системах управления как задержка между срабатыванием регулирующего органа и началом изменения регулируемого параметра объекта. В большинстве случаев величина этой задержки достаточно мала и ею пренебрегают.

Большинство процессов в промышленности контролируются за счет использования двух- трехпозиционных регуляторов или ПИД контроллеров [2]. Когда в процессах регулирования присутствует транспортное запаздывание, настройка ПИД-регулятора становится проблематичной и точность регулирования в замкнутой системе снижается. В связи с этим были приложены усилия для нахождения самого эффективного алгоритма настройки параметров ПИД контроллеров. На сегодняшний день существует ряд алгоритмов настройки ПИД-регуляторов для устойчивых и неустойчивых процессов с транспортным запаздыванием [3, 4], но они не могут обеспечить высокое качество управления для большого времени транспортного запаздывания. Поэтому если время транспортного запаздывания достаточно велико или требуется высокая точность управления, необходимо использовать системы с предсказанием.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве одного из методов, позволяющих управлять температурой объекта с предсказанием, можно считать метод ШИМ-регулирования с использованием предсказывающего фильтра [5, 6]. Для проверки эффективности данного метода в качестве объекта управления был выбран продолговатый полый стержень с намотанным на один конец нагревателем, датчики температуры, расположенные на поверхности полого стержня, микроконтроллер, содержащий модель объекта.

Далее, в соответствии с методом, для датчика температуры, расположенного на расстоянии 5 см от конца нагревателя, была получена реакция объекта управления на импульсы заданной длительности для нагревателей с мощностями равными 5 Вт, 11 Вт, 16 Вт, 25 Вт, 40 Вт, 50 Вт (рис. 1).

Для нагревателя мощностью 25 Вт и периодом предсказания равным 200 с проведен эксперимент для поддержания заданной температуры (рис. 2).

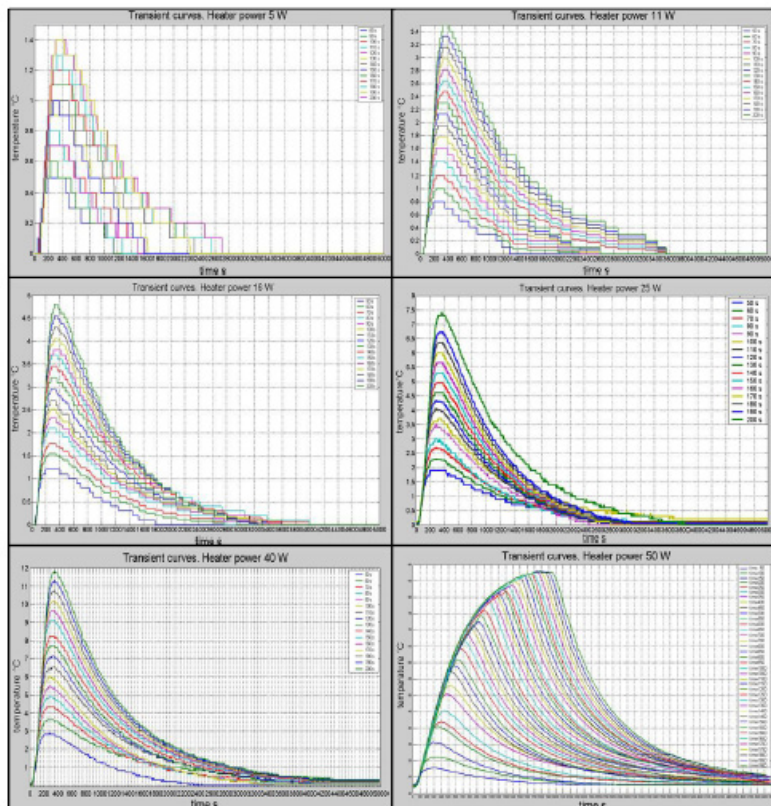


Рисунок 1 – Реакция объекта управления на импульсы заданной длительности

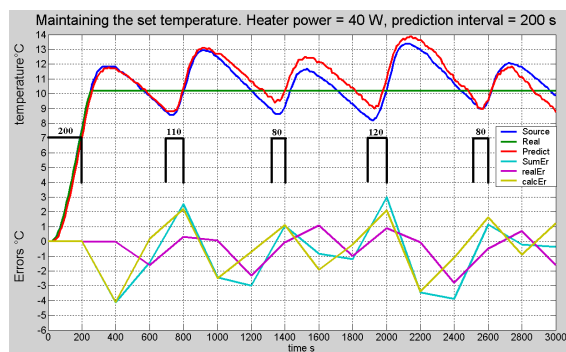


Рисунок 2 – Поддержание заданной температуры объекта управления

В результате эксперимента максимальное отклонение реальной температуры от заданной составило 4 °С, максимальная приведенная относительная погрешность измерений составила 40 %.

Величина данных погрешностей вызвана тем, что в соответствии с методом ШИМ-регулирования с предсказанием, импульс для компенсации величины ошибки рассогласования вырабатывается к концу интервала дискретизации. Однако при этом не учитывается величина перерегулирования от данного импульса (рис. 3).

Необходимо найти такое соотношение параметров длительности импульса и мощности нагревателя, чтобы ошибка эксперимента была минимальной или достигнуть максимальной точности регулирования.

После серии проведенных экспериментов по получению реакций объекта на импульсы заданной длительности (рис. 1) имеется набор из трёхмерных массивов, элементы которых можно рассматривать как точки поверхности. Необходимо обработать эти результаты и определить точки минимума/максимума поверхности.

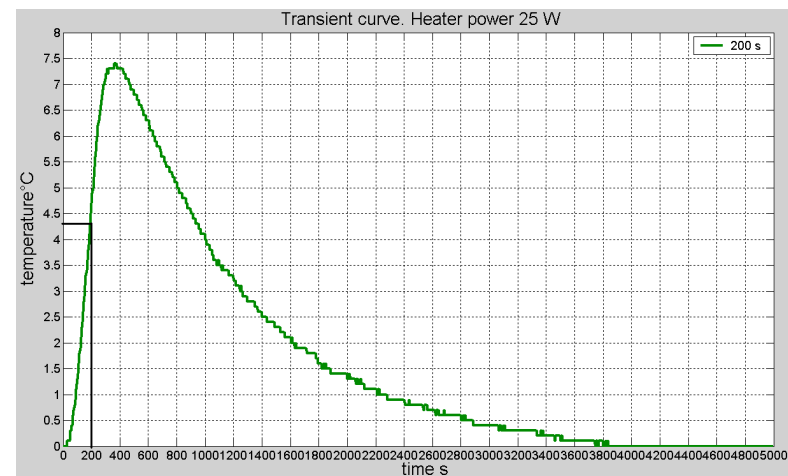


Рисунок 3 – Демонстрация ошибки перерегулирования

Для построения поверхности было выбрано 6 точек (табл. 1).

Таблица 1 – Выбранные узловые точки

№ точки	X, Вт	Y, с	Z
1	11.25	200	1.4/1.25
2	25	170	3.6
3	5	80	0.4/0.15
4	15.87	150	1.9/1.2
5	5	200	3/4
6	5	100	5/3

Где X – мощность нагревателя;

Y – длительность импульса;

Z – погрешность регулирования, равная отношению значения температуры перерегулирования к заданному значению температуры.

Построенный график по точкам представлен на рис. 4.

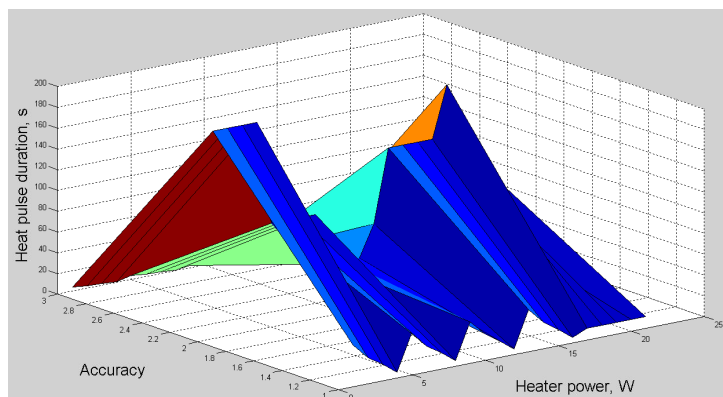


Рисунок 4 – График поверхности по выбранным узловым точкам

Взять за основу элемент, индекс которого имеет максимальное значение, недостаточно, поскольку данная точка может быть локальным минимумом/ максимумом или «ложным» пиком. Поэтому необходимо аппроксимировать выбранные данные некоторой поверхностью, затем получить уравнение этой поверхности и найти экстремум.

Для аппроксимации поверхности по заданным точкам был выбран метод наименьших квадратов. Суть метода заключается в минимизации суммы квадратов отклонений между фактическими и расчетными данными [7].

В качестве аппроксимирующей поверхности вращения была выбрана поверхность, задаваемая уравнением (1).

$$z = a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g \quad (1)$$

Далее, в соответствии с методом наименьших квадратов, получена функция, представляющая собой сумму квадратов отклонений известных точек от соответствующих точек на искомой поверхности (2).

$$f = \sum ([a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z]^2) \quad (2)$$

Затем необходимо найти такие значения коэффициентов a, b, c, d, f, g, при которых исходная функция будет минимизирована, то есть найти частные производные функции (3).

$$\begin{cases} \partial Q / \partial a = \sum (2[a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z] \cdot x^2) \\ \partial Q / \partial b = \sum (2[a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z] \cdot y^2) \\ \partial Q / \partial c = \sum (2[a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z] \cdot x \cdot y) \\ \partial Q / \partial d = \sum (2[a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z] \cdot x) \\ \partial Q / \partial f = \sum (2[a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z] \cdot y) \\ \partial Q / \partial g = \sum (2[a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot x \cdot y + d \cdot x + f \cdot y + g - z] \cdot 1) \end{cases} \quad (3)$$

При раскрытии скобок получено выражение (4).

$$\begin{cases} \sum (x^2 \cdot z) = a \cdot \sum (x^4) + b \cdot \sum (x^2 \cdot y^2) + c \cdot \sum (x^3 \cdot y) + d \cdot \sum (x^3) + f \cdot \sum (x^2 \cdot y) + g \cdot \sum (x^2) \\ \sum (y^2 \cdot z) = a \cdot \sum (x^2 \cdot y^2) + b \cdot \sum (y^4) + c \cdot \sum (x \cdot y^3) + d \cdot \sum (x \cdot y^2) + f \cdot \sum (y^3) + g \cdot \sum (y^2) \\ \sum (x \cdot y \cdot z) = a \cdot \sum (x^3 \cdot y) + b \cdot \sum (x \cdot y^3) + c \cdot \sum (x^2 \cdot y^2) + d \cdot \sum (x^2 \cdot y) + f \cdot \sum (x \cdot y^2) + g \cdot \sum (x \cdot y) \\ \sum (x \cdot z) = a \cdot \sum (x^3) + b \cdot \sum (x \cdot y^2) + c \cdot \sum (x^2 \cdot y) + d \cdot \sum (x^2) + f \cdot \sum (x \cdot y) + g \cdot \sum (x) \\ \sum (y \cdot z) = a \cdot \sum (x^2 \cdot y) + b \cdot \sum (y^3) + c \cdot \sum (x \cdot y^2) + d \cdot \sum (x \cdot y) + f \cdot \sum (y^2) + g \cdot \sum (y) \\ \sum (z) = a \cdot \sum (x^2) + b \cdot \sum (y^2) + c \cdot \sum (x \cdot y) + d \cdot \sum (x) + f \cdot \sum (y) + g \cdot \sum (1) \end{cases} \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) параметры из таблицы 1, имеем выражение (5).

$$\begin{cases} 4.7195 \cdot 10^5 \cdot a + 3.0202 \cdot 10^7 \cdot b + 3.5881 \cdot 10^6 \cdot c + 21421 \cdot d + 1.7884 \cdot 10^5 \cdot f + 1078.4 \cdot g = 2917.6 \\ 3.0202 \cdot 10^7 \cdot a + 4.6824 \cdot 10^9 \cdot b + 3.1395 \cdot 10^8 \cdot c + 1.8116 \cdot 10^6 \cdot d + 2.58 \cdot 10^7 \cdot f + 1.478 \cdot 10^5 \cdot g = 2.482 \cdot 10^5 \\ 3.5881 \cdot 10^6 \cdot a + 3.1395 \cdot 10^8 \cdot b + 3.0202 \cdot 10^7 \cdot c + 1.7884 \cdot 10^5 \cdot d + 1.8116 \cdot 10^6 \cdot f + 10781 \cdot g = 24239 \\ 21421 \cdot a + 1.8116 \cdot 10^6 \cdot b + 1.7884 \cdot 10^5 \cdot c + 1078.4 \cdot d + 10781 \cdot f + 67.12 \cdot g = 153.14 \\ 1.78874 \cdot 10^5 \cdot a + 2.58 \cdot 10^7 \cdot b + 1.8116 \cdot 10^6 \cdot c + 10781 \cdot d + 1.478 \cdot 10^5 \cdot f + 900 \cdot g = 1603.5 \\ 1078.4 \cdot a + 1.478 \cdot 10^5 \cdot b + 10781 \cdot c + 67.12 \cdot d + 900 \cdot f + 6 \cdot g = 11.387 \end{cases} \quad (5)$$

В матричном представлении выражение (5) преобразуется в (6).

$$\begin{pmatrix} 4.7195 \cdot 10^5 & 3.0202 \cdot 10^7 & 3.5881 \cdot 10^6 & 21421 & 1.7884 \cdot 10^5 & 1078.4 \\ 3.0202 \cdot 10^7 & 4.6824 \cdot 10^9 & 3.1396 \cdot 10^8 & 1.8116 \cdot 10^6 & 2.58 \cdot 10^7 & 1.478 \cdot 10^5 \\ 3.5881 \cdot 10^6 & 3.1395 \cdot 10^8 & 3.0202 \cdot 10^7 & 1.7884 \cdot 10^5 & 1.8116 \cdot 10^6 & 10781 \\ 21421 & 1.8116 \cdot 10^6 & 1.7884 \cdot 10^5 & 1078.4 & 10781 & 67.12 \\ 1.7884 \cdot 10^5 & 2.58 \cdot 10^7 & 1.8116 \cdot 10^6 & 10781 & 1.478 \cdot 10^5 & 900 \\ 1078.4 & 1.478 \cdot 10^5 & 10781 & 67.12 & 900 & 6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ f \\ g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2917.6 \\ 2.482 \cdot 10^5 \\ 24239 \\ 153.14 \\ 1603.5 \\ 11.387 \end{pmatrix} \quad (6)$$

В результате использования метода Крамера получены значения коэффициентов (7).

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ f \\ g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 147 / 22063 \\ 9 / 26449 \\ -48 / 105367 \\ 89 / 2117 \\ -334 / 3065 \\ 1487 / 165 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Вычисленные значения коэффициентов (7) подставлены в уравнение (1). В результате получено уравнение аппроксимирующей поверхности (8).

$$z = \frac{147}{22063} \cdot x^2 + \frac{9}{26449} \cdot y^2 - \frac{48}{105367} \cdot x \cdot y + \frac{89}{2117} \cdot x - \frac{334}{3065} \cdot y + \frac{1487}{165} \quad (8)$$

Для проверки наличия экстремумов на поверхности необходимо определить частные производные первого порядка (8-9).

$$\begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial x} &= \frac{294}{22063} x - \frac{48}{105367} y + \frac{89}{2117} \\ \frac{\partial z}{\partial y} &= -\frac{48}{105367} x - \frac{18}{26449} y - \frac{334}{3065} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \frac{294}{22063} x - \frac{48}{105367} y + \frac{89}{2117} = 0 \\ -\frac{48}{105367} x - \frac{18}{26449} y - \frac{334}{3065} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

В результате решения системы (9) получена критическая точка M1(2.3734;161.71).

Для определения типа экстремума необходимо найти частные производные второго порядка и вычислить значение частных производных в критической точке M1(2.3734;161.71).

$$\begin{aligned} A &= \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} (2.3734; 161.71) = \frac{294}{22063} \\ C &= \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} (2.3734; 161.71) = \frac{18}{26449} \\ B &= \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} (2.3734; 161.71) = -\frac{48}{105367} \end{aligned}$$

Выражение $A \cdot C - B^2 > 0$, поэтому точка M1(2.3734;161.71) является точкой минимума.

Результат полученной плоскости с заданными параметрами сетки в диапазоне от 0 с до 200 с шагом 0.1 с для значений мощности нагревателя и длительности импульса представлен на рис. 5.

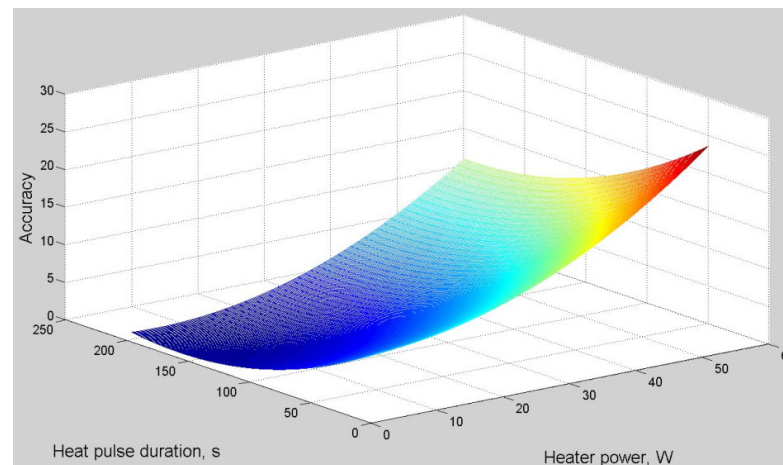


Рисунок 5 – Аппроксимированная поверхность по заданной сетке

Используя 2.3734 Вт в качестве мощности нагревателя, получены импульсы управления. Используя 161.71 с в качестве периода предсказания нагревателя, проведен эксперимент по поддержанию заданной температуры объекта (рис. 6).

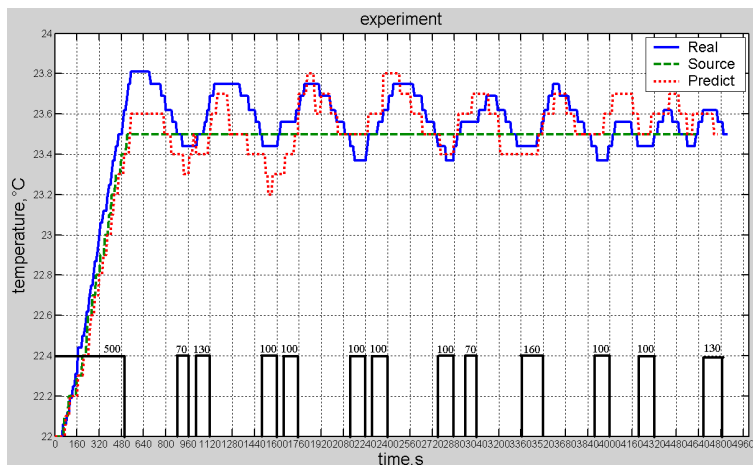


Рисунок 6 – Поддержание заданной температуры объекта с использованием оптимальных параметров регулирования

ВЫВОДЫ

В данной статье представлены результаты применения метода ШИМ-регулирования с предсказанием для управления температурой объекта. Продемонстрировано применение метода наименьших квадратов для построения аппроксимирующей плоскости и поиска экстремума по полученным экспериментальным данным. Проведенный эксперимент с полученными оптимальными параметрами продемонстрировал хорошую точность управления. В результате эксперимента максимальное отклонение реальной температуры от заданной составило 0,25 градуса Цельсия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Normey-Rico J. E. Control of Dead-time Processes / J. E Normey-Rico, E. F. Camacho. – London : Springer-Verlag, 2007. – 462 p.
- 2 Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е. С. Бондарь [и др.]. – Киев : Аванпост-Прим, 2005. – 560 с.
- 3 Astrom, K. J. PID Controllers Theory, Design, and Tuning / Astrom K. J., Hagglung T. – 2-nd ed. – USA, 1995. – 344 p.
- 4 Ziegler, J. G. Optimum settings for automatic controllers [Electronic resource] / J. G. Ziegler, N. B. Nichols // Transaction of the ASME. – 1942. – November. – P. 759–768. – Access mode: <http://chem.engr.utc.edu/Student-files/x2008-Fa/435-Blue/1942-paper.pdf>. – Title from screen.

5 Качанов, П. А. Поддержание заданной температуры инерционного объекта с использованием ШИМ-регулирования с предсказанием / П. А. Качанов, О. Н. Евсеенко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. Автоматика та приладобудування : зб. наук. пр. – Харків, 2014. – № 67. – С. 18-28.

6 Спосіб програмного управління тепловим об'єктом з застосуванням широтно-імпульсної модуляції : пат. на корисну модель № 81276 Україна: МПК G05D 23/19 (2006.01) / Савицький С. М., Гапон А. І., Качанов П. О., Євсеєнко О. М., Вискребенцев В. О. ; заявник Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № u201300059 ; заявл. 02.01.2013 ; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. – 4 с.

7 Лоусон, Ч. Численное решение задач метода наименьших квадратов : пер с англ. / Ч. Лоусон, Р. Хенсон. – М. : Наука, 1986. – 232 с.

Материал поступил в редакцию 10.03.16.

О. Н. Евсеенко

Експеримент нәтижелерін өңдеу және кіші квадраттар әдісін пайдалана отырып бакылау оңтайлы параметрлерін іздеу

Ұлттық Техникалық Университеті

«Харьков политехникалық институты», Харьков, Украина.

Материал 10.03.16 баспаға түсті.

O. N. Evseenko

Processing of the experiment results and the search for optimal control parameters using the least squares method

National Technical University

«Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine.

Material received on 10.03.16.

Мақалада эксперимент нәтижелерін өңдеу және басқарудың аса төмен қатемен келтірілген температураны ұстап тұруға арналған басқарудың оңтайлы параметрлерін іздестіру келтірілген. Зерттеу жұмысында шешімнің қолданбалы жағы – аса төмен квадраттар әдісін практикалық қолдануға арналған басқарудың параметрлерінің оңтайлы арақатысын табу және бетінің аппроксимациясы. Нысанның температурасын белгілі деңгейге шығару және белгіленген температураны ұстап тұру бойынша эксперимент нәтижелері келтірілген. Болжамалы интервалдың жоғары мәнін немесе жылытқыштың үлкен қуатын таңдау басқарудың сапасын төмендететіні анықталған.

The article is devoted to the temperature control of objects with lumped and distributive parameters. The results of maintaining the desired temperature with the smallest error control are presented. The article deals with the practical application of the least squares method of approximating the equation of a surface and finding the optimum control parameters. The problems of choosing the right value of heater power of regulator and prediction period are discussed. It is concluded that algorithm of PWM-control with prediction filter provides good quality control.

УДК 621.182.448(574.25)

К. Х. Жапаргазинова¹, Р. А. Ахметкалиева²

¹к.х.н., профессор; ²магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ ЗА СЧЕТ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье рассмотрены различные методы очистки теплообменного оборудования от накипи и отложений солей в зависимости от химического состава.

Ключевые слова: теплообменная аппаратура, накипь, химическая очистка, оборотная вода, скорость коррозии, жесткость воды.

ВВЕДЕНИЕ

Теплообменная аппаратура составляет порядка 40 % от общей доли технологического оборудования нефтеперерабатывающих производств. В процессе длительной работы внутренняя поверхность трубного пространства теплообменников подвергается загрязнению и износу. Очистка внутренней поверхности труб теплообменного оборудования от отложений играет большую роль в стабильной работе как отдельных единиц, так и блоков аппаратуры. Несвоевременная очистка теплообменника, а тем более полный отказ от неё, приводит не только к постоянному увеличению энергетических затрат на производство, но и к сравнительно высоким разовым расходам на восстановление рабочих параметров, а некоторых случаях, и на устранение аварийных ситуаций. Причинами снижения эффективности их работы и выхода теплообменного оборудования из строя, приводящие к ремонту теплообменников, остаются общими для любых теплообменников являются

некачественная водоподготовка, нарушение технологического режима на рабочей поверхности.

Теплообменник – устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя теплоносителями, имеющими различные температуры. По принципу действия теплообменники подразделяются на рекуператоры и регенераторы. В рекуператорах движущиеся теплоносители разделены стенкой. Основная часть накипи и солевых отложений оседает на внутренних стенках теплообменника а также на на внутренних пучках, что приводит к быстрому износу оборудования.

Теплообменные аппараты, в которых одновременно с теплообменом протекают и смежные процессы, такие как фазовые превращения, конденсация, испарение, смешение. Аппараты имеют свои наименования: конденсаторы, испарители, градирни, конденсаторы смешения. В зависимости от направления движения теплоносителей рекуперативные теплообменники могут быть прямоточными при параллельном движении в одном направлении, противоточными при параллельном встречном движении, а также при взаимно поперечном движении двух взаимодействующих сред. Основным теплоносителем является вода [1].

Для очистки теплообменной аппаратуры используют химическую, абразивную или специальную очистку.

Химическая очистка осуществляется без вскрытия теплообменника. Для очистки от накипи применяют 5-15 % раствор соляной кислоты с добавками ингибиторов. Для очистки от органических отложений используются углеродородные растворители. Очистка от твердых отложений путем заполнения теплообменника на сутки 5 % раствором соляной кислоты с добавкой жидкого стекла. Твердый осадок разрыхляется в этом растворе и затем легко смывается водой [2].

Абразивная очистка подразделяются на механическую, гидropневматическую, гидромеханическую и пескоструйную.

В Казахстане распространена механическая очистка теплообменной аппаратуры. Чистку проводят щеткой и под сильным напором воды, который очищает стены трубок и пучков от накипи. В ходе такой очистки возможны механические повреждения: стены труб истончаются, трубки быстрее изнашиваются и приводит к негодности аппарата.

В ходе механической очистки если пучки повреждаются или являются неисправными, допустимо заколотить 20 % пучков в аппарате с обеих сторон. Большое количество становится не рентабельным и сказывается на работе аппарата.

Для химической очистки рекомендуется подбирать реагенты в зависимости от вида отложений, выявленных на внутренних поверхностях очищаемого теплообменника, так как кислоты в различной степени реагируют с разными видами отложений

Таблица 1 – Возможные варианты промывочных реагентов.

Вид отложений	Состав отложений	Чистящий реагент
Продукты коррозии	Карбонат кальция	Азотная кислота
Оксиды металлов	Сульфат кальция	Сульфаминовая кислота
Ил	Силикаты	Жирные кислоты (муравьиная, лимонная)
Глинозём	Силикаты	Фосфорная кислота
Диатомический организмы	Силикаты	Комплексообразующие агенты, Полифосфаты натрия
Биологические обрастания - слизь	Бактерии	Едкий натр
Биологические обрастания - слизь	Нематоды	Карбонат натрия
Прочие загрязнения	Мазут, асфальт, жиры	Растворитель на основе парафиновых фракций нефти (например керосин).

Очистка теплообменников показана при уменьшении значения коэффициента теплопередачи относительно номинального показателя на 33-35 %, а также при повышении перепада давления более чем на 0,5 Бар сверх расчётного значения. Требуемая частота проведения очисток теплообменника определяется индивидуально в каждом случае и зависит от условий эксплуатации оборудования, очень важным фактором является качество водоподготовки питающей воды. В среднем (при наличии воды, приемлемого качества) оптимальные сроки проведения промывок теплообменников составляют от 1 до 3 лет. Также необходимо обращать внимание на состояние уплотнений, которые обеспечивают герметичность аппарата [2, 3].

Четкой границы между этими видами отложений не существует, так как накипь при определенных условиях может превращаться в шлам и наоборот – шлам в накипь. Накипь и шлам образуются в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных пересыщенных растворов. С ростом температуры возникает кристаллизация солей, имеющих отрицательный температурный коэффициент растворимости, а при общем повышении концентрации солей в испаряемой воде вследствие ее упаривания из раствора начинают выделяться в твердую фазу в первую очередь те соединения, для которых раствор ближе всего к состоянию насыщения.

Отложения по химическому составу классифицируют на четыре группы:

Щелочноземельные, сложные силикатные, железные, медные.

В первую группу входят карбонатные, сульфатные, силикатные, фосфатные накипи с преобладанием до 90 % по массе CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Карбонатная накипь – CaCO_3 откладывается обычно в форме плотных кристаллических отложений на тех поверхностях нагрева или охлаждения, где отсутствует кипение воды, а среда – нещелочная (водяные экономайзеры, конденсаторы турбин, водоподогреватели, питательные трубопроводы, тепловые сети). В условиях кипения щелочной воды CaCO_3 выпадает в виде шлама. Сульфатная накипь CaSO_4 – характеризуется высокой твердостью и большой плотностью. Силикатная накипь CaSiO_3 – образует твердую, прочную накипь [4].

Во вторую группу входят сложные силикатные накипи, имеющие разнообразный минералогический состав – обусловлено способностью кремниевой кислоты образовывать накипи не только с катионами кальция и магния, но и с катионами алюминия, железа, натрия и др. В химическом составе накипей второй группы содержится: 40-50 % кремниевой кислоты; 25-30 % оксидов железа, меди, алюминия; 5-10 % оксида натрия; 1-3 % щелочноземельных металлов (% по массе). Накипи второй группы характеризуются разнообразием структур – от пористых и комковых отложений до твердых и плотных образований, ровным слоем покрывающих металлическую поверхность [5].

В третью группу входят: железофосфатные накипи – NaFePO_4 , $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$; железоокисные накипи, состоящие в основном из оксидов железа Fe_3O_4 70-90 % и 5-8 % Cu (по массе). Железофосфатные накипи образуются при повышении содержания фосфатов и железа в котловой воде и при низкой щелочности воды. Эти накипи откладываются на внутренних поверхностях парообразующих труб. Железофосфатные накипи характеризуются как рыхлые накипи.

Железоокисные накипи образуются в зонах, характеризующихся высокими тепловыми нагрузками. Эти накипи откладываются на поверхности труб сплошным слоем, либо отдельными чешуйками, сцементированными друг с другом.

Четвертая группа – медная накипь. Содержит 70-90 % металлической меди – Cu . Медная накипь образуется при повышении содержания соединений меди в питательной воде на участках парогенерирующих труб с высокой тепловой нагрузкой ≥ 840 тыс кдж/м²ч (или ≥ 200 тыс ккал/м² час), а также в местах глубокого упаривания котловой воды. Эта накипь откладывается в виде слоистых образований. Верхний слой, омываемой котловой водой, содержит наибольшее количество металлической меди (70-90 % по массе), последующие слои по мере приближения к поверхности содержат все меньшее количество меди (10-25 %) при одновременном возрастании оксидов железа, кремниевой кислоты, фосфатов кальция и других компонентов [6].

В летний период времени, при увеличении температуры окружающего воздуха, происходит увеличение доли испаряемой воды, что вызывает рост карбонатной жесткости, коэффициент упаривания при этом составляет порядка 3,0-3,8. С летним периодом также связано увеличение ОМЧ (общего микробного числа), характеризующего биологическую загрязненность оборотной воды. ОМЧ составило 10^4 - 10^6 КОЕ/мл. Повышение содержания кальция (карбонатной жесткости) в оборотной воде свыше 90 мг/л приводит к образованию накипи и как следствие ухудшению охлаждения на холодильном оборудовании обслуживаемых установок. Предельное значение содержания кальция в оборотной воде, определяется методом корреляции содержания кальция и карбонатной жесткости оборотной воды. В отчетный период скорость коррозии составила менее 0,1 мм/год. В большинстве случаев замеров скорости коррозии, коррозия является подшламовой, т.к. высокое содержание взвешенных веществ в оборотной воде, способствует их осаждению на поверхности пластинок коррозии. Дополнительно осаждению взвешенных веществ на поверхность пластинок коррозии способствуют и условия их экспозиции, в условиях низких линейных скоростей оборотной воды (камера охлажденной воды) [7].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В таблице 2 указаны показатели используемой исходной воды Компании «Нефтехим–LTD». Компания «Нефтехим–LTD» является единственной компанией в Казахстане по производству метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ), который увеличивает октановое число бензина. В системе блока оборотной воды задействованы более 70 бойлеров и холодильной аппаратуры, хладагентом которой является вода. Ежегодно проводится капремонт, в ходе которого проводят частичную реконструкцию оборудования завода и очистку, в том числе от накипи и солевых отложений. Компания потребляет речную воду с Иртыша. В данной таблице показаны годовые показатели 2015 года, солей содержащихся в воде. На заводе используются следующие методы очистки воды: коагуляция, флотация и механическая очистка от примесей.

Таблицы 2 – Показатели оборотной воды

№ п/п	Показатели	Ед. изм	Значение
1	Жесткость общ J_0	мг/дм ³	42,0
2	Щелочность $Щ_0$	мг/дм ³	72,6
3	Кальций Ca^{2+}	мг/дм ³	35,0
4	Магний Mg^{2+}	мг/дм ³	7,0
5	Нитраты NO_3^-	мг/дм ³	0,6

6	Хлориды Cl^-	мг/дм ³	17,3
7	Сульфаты SO_4^{2-}	мг/дм ³	173,0
8	Натрий Na^+	мг/дм ³	30,0
9	Сухой остаток	мг/дм ³	340,0
10	Взвешенные вещества	мг/дм ³	20,0

В таблице 3 указаны годовые объемы и показатели расходуемой воды

Таблица 3 – Годовые объемы и показатели расходуемой воды

№ п/п	Показатели	Размерность	Проектные показатели
1	Производительность	м ³ /ч	75
2	Годовая выработка очищенной воды	тыс.м ³ /год	525,6
3	Годовая потребность в исходной воде	тыс.м ³ /год	556,56
4	Годовое количество сточных вод	тыс.м ³ /год	34,05

В технологической схеме компании предусмотрен теплосъем оборотной водой. На территории предприятия применяются кожухотрубные аппараты-холодильники типа П (с плавающей головкой) имеет габаритные размеры: длина – 3693 мм, высота – 714 мм, внутренний диаметр кожуха 408 мм. Аппараты расположены горизонтально, с двух сторон закрыт днищами-плоскими (со стороны камеры) и эллиптическими (со стороны плавающей головки). Аппарат установлен на двух седловидных опорах, одна из которых подвижная, другая неподвижная. На корпусе аппарата расположены штуцера $D_y 100$ – 2 шт, и два штуцера $D_y 100$ на распределительной камере. Поверхность теплообмена составляет 23 м², а масса аппарата – 1550 кг.

Внутри аппарата расположены трубные пучки, состоящие из 122 трубок. Длина каждой трубки составляет 3000 мм, а поперечные размеры 20x2 мм. Трубки расположены в коридорном порядке, что несколько ухудшает турбулизацию среды в межтрубном пространстве, но это более удобно для очистки наружной поверхности трубок. Одним концом теплообменные трубки развальцованы в трубной решетке, а с другого конца трубки закрепляются в решетке, а с другого конца трубки закрепляются в решетке плавающей головки. Материал решетки должен быть тверже, чем материал трубок – для возможности многократной замены трубок и обеспечения целостности гнезд. Трубный пучок поддерживается поперечными перегородками (10 штук), которые также способствуют организации зигзагообразного движения среды в межтрубном пространстве и удлиняют путь движения среды, назначение плавающей головки заключается в компенсации температурных удлинений трубок. Плавающая головка представляет собой конструкцию, состоящую

из решетки и крышки, соединенных между собой крепежными деталями; герметичность соединения обеспечивается прокладкой.

На рисунке 1 представлена динамика изменения скорости коррозии в оборотной воде блока оборотного водоснабжения Компании «Нефтехим – LTD». Из графика видно, что скорость коррозии в период январь-май 2011 г. не превышала нормативное значение (не более 0,1 мм/год) в среднем составила – 0,0629 мм/год. В период июнь-август 2011 г. произошло увеличение скорости коррозии до 0,4712 мм/год, причиной этого явилось увеличение содержания взвешенных веществ в подпиточной воде и как следствие в оборотной воде.

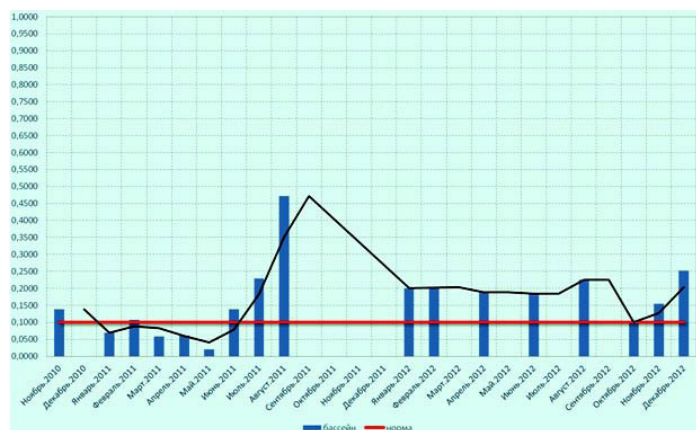


Рисунок 1 – Изменение скорости коррозии в оборотной воде БОВ, мм/год

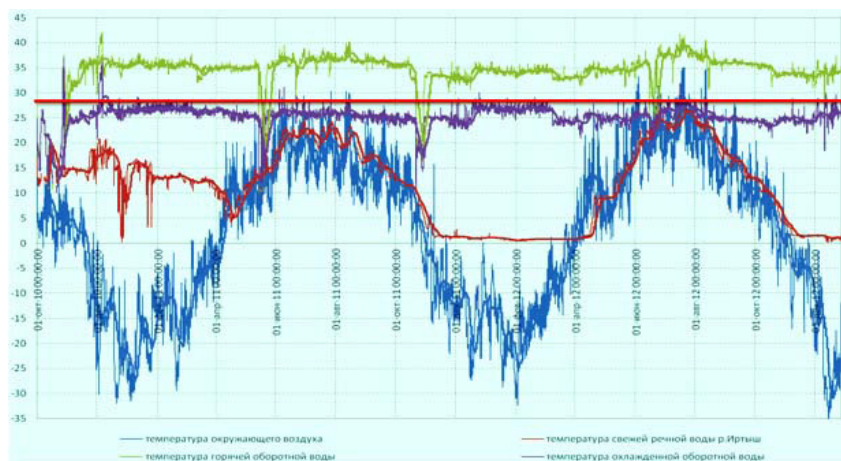


Рисунок 2 – Изменение температур блока оборотного водоснабжения

Оборотная вода по своему качеству не всегда отвечала нормативным требованиям, предъявляемым к качеству оборотной воды. В летний период времени, при увлечении температуры окружающего воздуха (рисунок 2), происходило увеличение доли испаряемой воды, что вызывало рост карбонатной жесткости, коэффициент упаривания при этом составлял – 3,0-3,8. Повышение содержания кальция (карбонатной жесткости) в оборотной воде свыше 90 мг/л приводит к образованию накипи и как следствие ухудшению охлаждения на холодильном оборудовании обслуживаемых установок. Предельное значение содержания кальция в оборотной воде, определено методом корреляции содержания кальция и карбонатной жесткости оборотной воды.

ВЫВОДЫ

Теплообменное оборудование является неотъемлемой частью производства. Химические реагенты и их концентрация во многом зависят от исходного состава воды, и оседающих отложений в аппарате. Механическая очистка не дает желаемых результатов, ухудшает эффективность работы оборудования. Недостатками данного метода являются большая трудоемкость, высокая вероятность повреждения трубы при чистке, невозможность очистки трубы до металла. Таким образом, химический метод является более эффективным. Метод с использованием водных растворов различных реагентов, позволяет промыть всю внутреннюю поверхность теплообменного оборудования без его вскрытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Фарамазов, С. А.** Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств. – М. : Химия, 1988. – 304 с.
- 2 **Луканин, В. Н.,** Теплотехника. – М. : «Высшая школа», 2002.
- 3 http://www.gosteplo.ru/w/Отложения_и_абразивный_износ
- 4 Способ химической очистки внутренней поверхности теплообменного оборудования (патент RU 2204101). Авторы патента: Петруняк М. А., Суханов А. И., Журавлев Л. М.
- 5 Способ химической очистки от отложений поверхностей теплоэнергетического оборудования (RU 2166718): Авторы патента: Рыженков В. А., Куршаков А. В.
- 6 Антикоррозионная защита / Козлов Д. Ю. – Екатеринбург : ООО «ИД «Оригами», 2013. – С. 343. – 440 с.
- 7 **Суворов, В.** Борьба с накипью в системах водоснабжения. – М. : Издательство: Информационно-издательское предприятие «АВОК-ПРЕСС». – М. : – ISSN: 1609-9559.

К. Х. Жапаргазинова, Р. А. Ахметкалиева

Жылу алмастырушы аппаратураның жұмыс бетін химиялық тазарту есебінен өндірістік тиімділігін арттыру

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 25.01.16 баспаға түсті.

K. Kh. Zhapargazinova, R. A. Akhmetkaliyeva

Enhancement of heat exchanger apparatus efficiency by means of chemical cleaning of a working surface

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 25.01.16.

Бұл мақалада қақ пен тұз тұнбаларынан жылу қондызғыларын тазалаудың заманауи әдістері қарастырылған.

In this article various methods of heat exchange equipment cleaning of the scum and deposition of salts, depending on the chemical composition is performed.

И. И. Злотников¹, С. В. Пискунов¹, И. В. Захаров²

¹к.т.н., доцент, ст. преподаватель, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь; ²д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСНЫХ ИОНОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ

Исследован процесс микродугового оксидирования алюминия в щелочных электролитах, содержащих ионы переходных металлов (Co, Cu, Ni, Fe). Показано, что ионы металлов внедряются в структуру оксидно-керамического покрытия, увеличивая его механическую прочность и адгезию к полимерам. Разработанная технология позволяет управлять топографией, структурой и физическими свойствами получаемых покрытий.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, алюминиевые сплавы, оксидно-керамические покрытия, легирование, примесные ионы.

ВВЕДЕНИЕ

Сущность микродугового оксидирования (МДО) заключается в том, что под действием высокого напряжения, прикладываемого между находящейся в электролите деталью и электродом, на поверхности детали возникают мигрирующие точечные микродуговые разряды, под действием которых поверхностный слой детали оксидируется с образованием керамического покрытия, прочно сцепленного с основой. Технология МДО хорошо отработана для группы вентильных металлов и их сплавов (Al, Ti, Zr, Mg др.) т.е. металлов, на которых оксидные пленки, сформированные электрохимическим путем, обладают униполярной или асимметричной проводимостью в системе металл-оксид-электролит, причем положительный потенциал на металле, на котором образована анодная оксидная пленка, соответствует запирающему или обратному направлению, аналогичному полупроводниковому вентилю. В результате на поверхности анода формируется керамическое покрытие, состоящее преимущественно из кристаллического оксида материала анода (для

алюминия это корунд, для титана – рутил). Такие покрытия обладают повышенной твердостью, износостойкостью, высокими диэлектрическими свойствами и находят применение в различных областях техники. Регулируя составы электролита и режимы проведения оксидирования можно получать антикоррозионные и износостойкие, декоративные и диэлектрические, теплозащитные и упрочняющие покрытия [1-5]. Известно, что атомы легирующих элементов, входящие в состав оксидируемого алюминиевого сплава внедряются в кристаллическую решетку Al_2O_3 , резко изменяя структуру и свойства получаемого керамического покрытия [1, 6]. Но такой способ направленного управления кристаллической структурой покрытия имеет очень ограниченное применение. Имеются литературные данные, свидетельствующие о том, что при микроплазменном оксидировании также возможен переход ионов металлов и неметаллов из электролита в объем формируемого оксидного слоя, что изменяет физико-химические свойства покрытия [7, 8]. Однако в настоящее время не только не разработан механизм направленного регулирования кристаллической структуры МДО-покрытий методом внедрения ионов из электролитов, но даже не накоплено достаточно фактов и закономерностей для создания феноменологической модели. Это связано с тем, что процесс МДО является крайне неравновесным термодинамическим процессом, неравновесность которого поддерживается постоянным подводом энергии большой плотности (около 10^{10} Дж/м³) и вещества (ионы электролита).

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является исследование особенностей МДО алюминия в силикатно-щелочных электролитах для установления закономерностей внедрения ионов поливалентных металлов из электролита в кристаллическую решетку Al_2O_3 с целью направленного управления структурой и свойствами получаемых покрытий и создания новых керамических покрытий с улучшенными физико-техническими показателями.

Материалы и методы исследования. При проведении исследований использовали алюминиевую фольгу марки АД1 толщиной 100 мкм а пластины толщиной 1 мм, из которых изготавливали прямоугольные электроды площадью 10 см². Процесс МДО алюминия проводили в симметричном анодно-катодном режиме с использованием переменного тока частотой 50 Гц при постоянной плотности тока равной 6 А/дм²; напряжение при котором формировали покрытия изменяли в пределах от 0 до 400 В. В качестве рабочих электролитов использовали растворы, содержащие натриевое жидкое стекло (ЖС) и гидроксид калия (КОН). Для обеспечения легирования получаемых покрытий примесными ионами в состав электролитов вводили водорастворимые соли поливалентных металлов: железа, кобальта, никеля и меди в количестве 0,1-0,5 г/л.

Для нанесения полимерных покрытий на обработанную методом МДО алюминиевую поверхность использовали полиамид 6 (ПА6). Покрытия формировали методом наплавления: порошкообразный полимер насыпали на исследуемый образец, прикатывали резиновым валиком через фторопластовую пленку и термообрабатывали при температуре 270-280 °С. Толщину получаемого покрытия задавали с помощью трафаретной рамки. Шероховатость поверхности образцов измеряли на профилографе «Калибр ВЭИ». Толщину и пористость керамических покрытий оценивали с помощью оптического микроскопа на поперечных шлифах. Микротвердость покрытий определяли по стандартной методике на приборе ПМТ-3 при нагрузке 2 Н. Прочность адгезионного соединения исходной и оксидированной фольги с наплавленным покрытием из ПА6 оценивали методом отслаивания покрытия под углом 180° на образцах шириной 10 мм на комплексе «Instron 5567» по стандартной методике при скорости 10 мм/мин. Напряжения пробоя оксидно-керамических покрытий проводили в соответствии с ГОСТ 6433.3 с использованием двух цилиндрических латунных электродов. Усилие контакта верхнего электрода с покрытием составляло 10 кПа. Измерения проводили на установке УПИ-3 с использованием переменного напряжения частотой 50 Гц.

Результаты и обсуждение. Основываясь на литературных данных [1-5] в качестве базового силикатно-щелочного электролита были выбраны водные растворы, содержащие ЖС и КОН, как наиболее технологичные, доступные и дешевые. Для определения оптимального состава базового электролита было изучено влияние соотношения ЖС и КОН на режимы формирования покрытия. На рисунке 1 приведены зависимости напряжения формирования покрытий от времени обработки в некоторых электролитах. Наиболее стабильными параметрами характеризуется процесс нанесения покрытия в электролите, содержащем 6,5 г/л ЖС (по сухому остатку) и 2,5 г/л КОН (кривая 1). Процесс может продолжаться в течение длительного (до 3 часов) времени в микроискровом и микродуговом режимах при постоянном напряжении около 400 В. В таком режиме были получены плотные и прочные покрытия толщиной до 120 мкм, состоящие практически из чистого оксида алюминия [6].

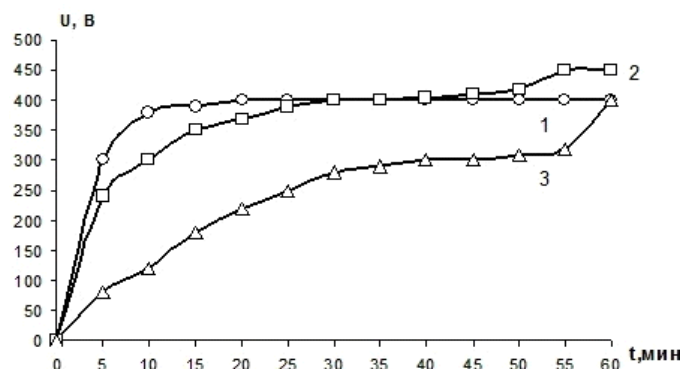


Рисунок 1 – Зависимости напряжения формирования покрытий от времени (пояснения по тексту статьи).

При использовании электролитов с меньшей концентрацией, например содержащего 5 г/л ЖС и 2 г/л КОН (кривая 2), процесс вначале идет аналогично первому режиму, однако, при достижении толщины оксидного покрытия около 50 мкм начинается заметное осаждение диоксида кремния, что приводит к разрыхлению поверхностного слоя покрытия и требует повышения напряжения, которое в дальнейшем ведет к переходу от микродугового к дуговому режиму и разрушению сначала отдельных участков, а затем и всего покрытия. При использовании электролитов с высоким содержанием ЖС (15 г/л) и КОН (6 г/л) процесс МДО начинается при более низких напряжениях, рост толщины происходит более интенсивно за счет осаждения диоксида кремния, что требует постоянного увеличения напряжения (кривая 3). Покрытия, получаемые по третьему режиму, только в самом нижнем слое толщиной до 20 мкм состоят из оксида алюминия, а далее все более обогащаются кремнием, и представляют собой алюмосиликаты различного состава. Поверхностный слой состоит практически полностью из чистого оксида кремния. При повышении напряжения свыше 400 В процесс переходит в дуговой режим и начинается постепенное разрушение покрытия. Оптимальное массовое отношение количества ЖС и КОН в электролитах, как показали проведенные исследования, составляет около 2,5.

После проведения процесса МДО образцы промывали сначала проточной, а затем дистиллированной водой и сушили при температуре 110-120 °С.

Свойства керамических покрытий, полученных по первому режиму в зависимости от времени МДО-обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства керамических покрытий

Характеристика	Время МДО обработки, мин					
	0	10	20	30	40	60
Толщина, мкм	-	12	18	35	82	120
Микротвердость, ГПа	-	8,5	11,4	11,8	8,2	6,5
Пористость, см ²	-	15	22	35	65	120
Напряжение пробоя, В	-	460	680	790	880	960
Шероховатость, Ra, мкм	0,065	0,065	0,09	0,14	0,25	0,32
Адгезия ПА 6 к покрытию, кН/м	1,32	1,38	1,45	1,48	1,52	1,50

Из таблицы 1 следует, что по мере возрастания толщины покрытия увеличивается напряжение пробоя, однако прямой пропорциональности между толщиной покрытия и величиной напряжения пробоя нет. Также при увеличении толщины покрытия увеличивается его пористость и шероховатость, и, как следствие, начиная с некоторой толщины, при этом снижается микротвердость. Кроме того из таблицы 1 следует, что адгезия ПА 6 к подложке так же возрастает одновременно с увеличением шероховатости и пористости покрытия, что говорит о преобладании механического фактора при формировании адгезионного соединения, хотя возможно и химическое взаимодействие полимера с материалом покрытия [9-11].

Проведенные исследования показали, что ведение в состав базового электролита ионов поливалентных металлов не оказывает принципиального влияния на характер протекания процессов МДО, лишь несколько понижается начальное напряжение формирования покрытия, что связано с увеличением проводимости раствора. Покрытия, полученные в таких электролитах, имеют характерную окраску, связанную с внедрением примесных ионов в кристаллическую структуру Al₂O₃. Свойства получаемых покрытий приведены в таблице 2. Покрытия формировали в электролите составом, г/л: ЖС – 6,5 (по сухому остатку), КОН – 2,5, соль металла – 0,4 в течение 40 мин; плотность тока поддерживалась равной 6 А/дм², конечное напряжение 400 В.

Таблица 2 – Свойства модифицированных покрытий

Характеристика	Время МДО обработки, мин					
	0	10	20	30	40	60
Толщина, мкм	-	12	18	35	82	120
Микротвердость, ГПа	-	8,5	11,4	11,8	8,2	6,5
Пористость, см ²	-	15	22	35	65	120
Напряжение пробоя, В	-	460	680	790	880	960
Шероховатость, Ra, мкм	0,065	0,065	0,09	0,14	0,25	0,32
Адгезия ПА 6 к покрытию, кН/м	1,32	1,38	1,45	1,48	1,52	1,50

Как следует из сравнения данных, приведенных в таблицах 1 и 2, внедрение легирующих ионов в состав керамического покрытия приводит к заметному увеличению механической прочности (микротвердости) и, особенно, адгезионной прочности с ПА 6. Интересно отметить, что адгезия ПА 6 к модифицированным покрытиям увеличивается в среднем на 40 %, хотя шероховатость поверхности при этом практически не изменяется. Это может свидетельствовать об увеличении роли химического взаимодействия между полимером и керамическим покрытием.

Химическое взаимодействие между полимером и модифицированной оксидной пленкой на поверхности алюминия может протекать по следующим механизмам. Известно [9], что наличие в полимере даже небольшого числа карбоксильных, амидных или гидроксильных групп значительно увеличивает адгезию, вследствие образования водородных связей с гидратированной поверхностью оксида алюминия. В случае дегидратированной поверхности Al_2O_3 термоокисленный полимер взаимодействует с координационно-ненасыщенными ионами Al^{3+} с образованием на поверхности металла комплексных соединений [10]. Кроме того, при взаимодействии термоокисленных полимеров с оксидированной поверхностью алюминия образуются и связи типа $Al-O-C$, $Al-C-O$, $Al-N$ [11].

В случае замены некоторых атомов Al на примесные атомы Cu, Ni, Fe, адгезия, как следует из таблиц 1 и 2 значительно возрастает, что может быть связано с более активным образованием химических связей типа $Me-O-C$.

Напряжение пробоя всех легированных покрытий оказалось меньше, чем у покрытий из чистого оксида алюминия. Это может быть связано с появлением полупроводниковых свойств, получаемых керамических покрытий.

Наличие примесных атомов в структуре оксидно-керамического покрытия было подтверждено по спектрам диффузного отражения, полученных на спектрофотометре Cary-300 компании Varian (США) в диапазоне длин волн 190-900 нм. В спектрах были обнаружены интенсивные пики поглощения с максимумами около 480 нм и 700 нм, характерные для ионов меди, внедренных в алюмосиликатные структуры. [12].

На рисунке 2 приведен характерный вид получаемых оксидно-керамических покрытий; хорошо просматривается мелкозернистая структура материала.

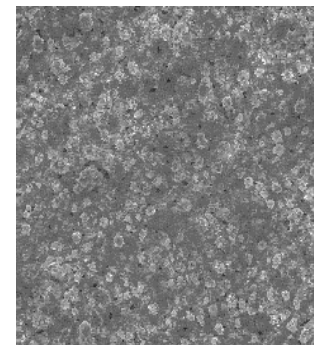


Рисунок 2 – Микрофотографии шлифа поверхности покрытия, $\times 300$.

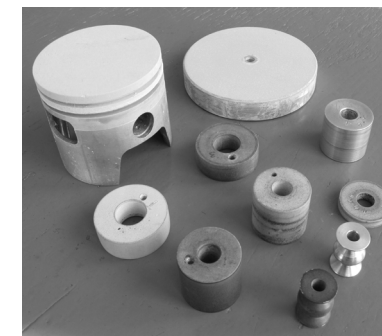


Рисунок 3 – Образцы с покрытием и заготовки для нанесения покрытий.

Разработанная технология нанесения модифицированных оксидно-керамических покрытий была апробирована для изготовления различных деталей (роликов-нитеводителей, элементов запорной арматуры) с упрочненной поверхностью. Опытные образцы изготавливали из алюминиевого сплава Д16 и после нанесения МДО-покрытий использовали взамен керамических. На рис. 3 показаны некоторые детали с покрытием, а также заготовки из алюминиевых сплавов для нанесения покрытий.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования показали, что легирование оксидно-керамических покрытий, получаемых методом МДО на поверхности алюминия ионами поливалентных металлов позволяет направленно управлять топографией, структурой и физическими свойствами получаемых покрытий. Это существенно расширяет области применения алюминиевых сплавов, в качестве конструкционных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Белеванцев, В. И.** Микроплазменные электрохимические процессы. Обзор / В. И. Белеванцев, О. П. Терлева, Г. А. Марков // Защита металлов. – 1998. – Т. 34. – № 5. – С. 469-484.
- 2 **Мамаев, А. И.** Получение анодно-оксидных декоративных покрытий на сплавах алюминия методом микродугового оксидирования / А. И. Мамаев, Ю. Ю. Чеканова, Ж. М. Рамазанова // Физика и химия обработки материалов. – 1999. – № 4. – С. 41-44.

3 **Ерохин, А. Л.** Повышение фрикционных характеристик МДО-покрытий вакуумно-плазменной обработкой / А. Л. Ерохин, А. Меттьюз, С. Доуи, В. В. Любимов // Трение и износ. – 1998. – Т. 19. – № 5. – С. 642-645.

4 **Бердиқов, В. Ф.** Нанесение керамических покрытий оксида алюминия микродуговым оксидированием / В. Ф. Бердиқов, О. И. Пушкарёв, В. А. Федоров // Огнеупоры и техническая керамика. – 1997. – № 1. – С. 16-17.

5 **Атрощенко, Э. С.** Области применения и свойства покрытий, получаемых микродуговым оксидированием / Э. С. Атрощенко, И. А. Казанцев, А. Е. Розен, Н. В. Голованова // Физика и химия обработки материалов. – 1996. – № 3. – С. 8-11.

6 **Федоров, В. А.** Состав и структура упрочненного поверхностного слоя на сплавах алюминия, получаемого при микродуговом оксидировании / В. А. Федоров, В. В. Белозеров, Н. Д. Великосельская, С. И. Бульчев // Физика и химия обработки материалов. – 1988. – № 4. – С. 92-97.

7 **Богута, Д. Л.** Формирование при потенциалах искрения Р- и Ni-содержащих анодных покрытий на сплаве алюминия // Д. Л. Богута, В. С. Руднев, Т. П. Яровая [и др.] / Журнал прикладной химии. – 2000. – Т. 82. – № 8. – С. 1296-1300.

8 **Гнеденков, С. В.** Износостойкие и жаростойкие покрытия на поверхности алюминия / С. В. Гнеденков, О. А. Хрисанфова, А. Г. Завидная // Журнал прикладной химии. – 2000. – Т. 82. – № 4. – С. 541-547.

9 **Берлин, А. А.** Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М.: Химия, 1974. – 392 с.

10 **Дорфман, А. М.** Формирование координационных связей на границе оксид алюминия – полипропилен / А. М. Дорфман, А. М. Ляхович, С. М. Решетников // Защита металлов. – 1998. – № 2. – С. 134-138.

11 **Дорфман, А. М.** РФЭ-исследование взаимодействия модифицированного полипропилена с оксидом алюминия / А. М. Дорфман, А. М. Ляхович, В. И. Повстугар [и др.] // Защита металлов. – 1999. – Т. 35. – № 2. – С. 139-145.

12 **Марченко, З.** Фотометрическое определение элементов / З. Марченко. – М.: Мир, 1971. – 502 с.

Материал поступил в редакцию 01.03.16.

И. И. Злотников¹, С. В. Пискунов¹, И. В. Захаров²

Алюминий бетіндегі ықшам доғалық оксидтеу әдісімен алынатын керамикалық жабындардың құрылысы мен қасиетіне қоспалық иондардың әсері

¹П. О. Сухов атындағы Гомель мемлекеттік техникалық университеті, Гомель қ., Беларусь.

²С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан.
Материал 01.03.16 баспаға түсті.

I. I. Zlotnikov¹, S. V. Piskunov¹, I. V. Zakharov²

Influence of impurity ions on structure and properties of ceramic surfaces prepared by micro arc oxidation on the surface of aluminum

¹P. Sukhov Gomel State Technical University, Gomel, Belarus;

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

Material received on 01.03.16.

Өтпелі металдардың (Co, Cu, Ni, Fe) иондарынан тұратын қорғасын электролиттерінде алюминийді ықшам доғалық оксидтеу үрдісі зерттелген.

Металдардың иондары оксидті-керамикалық жабындардың құрылымына енгізілетіні көрсетілген, оның полимерлерге адгезиясын және механикалық беріктігін арттырады. Әзірленген технология алынатын жабындардың топографиясымен, құрылымымен және физикалық қасиеттерімен басқаруға мүмкіндік береді.

There was explored the process of micro arc oxidation of aluminum in alkaline electrolytes containing ions of transition metals (Co, Cu, Ni, Fe). It is shown that metal ions are introduced into the structure of oxide-ceramic coating increasing its mechanical strength and adhesion to polymers. The developed technology allows you to control the topography, structure and physical properties of the coatings.

**А. Ш. Кажикенова¹, Д. Б. Алибиев², И. С. Кауымбек³,
А. М. Макашева⁴, Н. А. Испулов⁵**

¹к.т.н., доцент; ²к.ф.-м.н., декан факультета математики и информационных технологий; ³м.п.н., Карагандинский государственный университет имени Е. А. Букетова, Караганда; ⁴д.т.н., профессор, Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, Караганда; ⁵к.ф.-м.н., доцент, декан факультета физики, математики и информационных технологий, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар
e-mail: ¹aigul-kazhikenova@mail.ru; ²dalibiev@mail.ru; ³indira_k79@mail.ru; ⁴astra_mun@mail.ru; ⁵nurlybek_79@mail.ru

КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНАЯ МОДЕЛЬ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОГО ИНДИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ХАОТИЗИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ

Определена температурная зависимость вязкости расплава на основе концепции хаотизированных частиц по единой модели, учитывающей степень ассоциации элементарных кластеров из кристаллоподвижных частиц. Полученная форма температурной зависимости вязкости может быть использована для расчета энергии активации вязкого течения расплава в комбинации с уравнением Френкеля. Показана применимость полученной модели к расплавам металлов на примере расплава индия.

Ключевые слова: вязкость, кластер, степень ассоциированности кластеров, кристаллоподвижные частицы, реперная точка.

ВВЕДЕНИЕ

Из различных физико-химических свойств расплавов наиболее трудным для аналитического описания на основе фундаментальных характеристик вещества оказывается вязкость. Так, даже для простых веществ – металлов, на основе всестороннего анализа различных моделей вязкости (квантово-химических, термодинамических и других) авторы обобщающей монографии [46] приходят к выводу, что единственно достаточно достоверным источником сведений о вязкости жидких металлов при различных температурах является эксперимент, аналитическое описание которого возможно либо статистическими аппроксимирующими моделями, либо полуэмпирическими моделями с двумя или более подгоночными параметрами.

Возможность усиления фундаментальной части подобных моделей должна основываться на новом подходе к пониманию жидкого состояния. Ввиду достаточно широкого и глубокого исследования этого состояния выходом из существующего положения может быть более обобщенное представление о жидком состоянии как об одном из трех агрегатных в рамках объединяющей их модели.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сотрудники Химико-металлургического института им. Ж. Абишева предложили рассматривать все три агрегатных состояния вещества с точки зрения подчинения распределению Больцмана и связать каждое состояние с практически важными характеристиками пластичности, вязкости и испаряемости на основе превышения или не превышения энергетических барьеров плавления и кипения [1]. Так как во всех случаях рассматриваются частицы, отличающиеся только по величине энергии хаотического движения, то их объединенное и дифференцированное отображение можно квалифицировать как концепцию хаотизированных частиц.

Сущность концепции хаотизированных частиц состоит в использовании распределения Больцмана для разделения всех частиц на три вида по тепловым барьерам плавления RT_m и кипения RT_b . Таким образом, по концепции хаотизированных частиц кристаллоподвижные, жидкоподвижные и пароподвижные частицы присутствуют в каждом из агрегатных состояний вещества. Однако с повышением температуры и преодолением различных энергетических барьеров хаотизации соотношение долей этих частиц меняется. Виртуальное образование и статистическое присутствие каждого из трех видов хаотизированных частиц в каждом агрегатном состоянии позволяет по их соотношению определить роль каждого сорта в том или ином состоянии, тех или иных процессах.

В самом деле, если в расплаве существуют неустойчивые зародыши твердой фазы – кластеры, состоящие из комплекса кристаллоподвижных частиц, то именно они должны препятствовать жидкотекучести металлов. Тем самым кластеры могут определять вязкость жидкости и ее зависимость от температуры в той или иной комбинации с преобладанием тех или иных частиц. На основе концепции хаотизированных частиц были разработаны следующие модели вязкости:

– с учетом кристаллоподвижных частиц

$$v = v_r T_r / T, \quad (1)$$

где v_r и T_r – соответственно кинематическая вязкость и абсолютная температура для некоторой реперной точки, выбираемой произвольно в качестве наиболее надежного экспериментального определения;

– с учетом кристаллоподвижных и жидкоподвижных частиц:

$$\nu = \frac{\nu_r T_r [\exp(-T_m / T_r) - \exp(-T_b / T_r)]}{T [\exp(-T_m / T) - \exp(-T_b / T)]}, \quad (2)$$

где T_m и T_b – соответственно температуры плавления и кипения;

– с учетом всех трех видов частиц:

$$\nu = \frac{\nu_r T_r \exp(-T_m / T_r)}{T \exp(-T_m / T)} = \frac{\nu_r T_r}{T} \exp\left(\frac{T_m}{T} - \frac{T_m}{T_r}\right). \quad (3)$$

Эти модели были проверены на всем доступном справочном материале по вязкости расплавов металлов. В ходе проверки было установлено [2] подчинение справочных данных какой-либо из трех предложенных моделей; к тому же эта подчиненность находится в согласии с различием в конфигурациях электронных оболочек и потенциалами ионизации металлов, т.е. с периодическим законом Д. И. Менделеева.

Также было установлено, что более сильная зависимость от температуры может быть объяснена образованием ассоциированных или агрегированных элементарных кластеров, разрушение которых с повышением температуры происходит параллельно с разрушением элементарных кластеров. Это и создает эффект более сильного влияния температуры на вязкость в случае формирования подобных ассоциатов или агрегатов. Поэтому мы считаем что необходимо усиление температурного фрагмента (T_r/T) и на этом основании предложена обобщенная кластерно-ассоциатная модель кинематической вязкости

$$\nu = \nu_r (T_r / T)^a \quad (4)$$

где показатель a степень ассоциации n -частичных кластеров.

Параметр a определяется из (4) путем логарифмирования

$$a = \frac{\ln(\nu/\nu_r)}{\ln(T_r/T)}. \quad (5)$$

Для определения параметра a необходимо использовать все экспериментальные значения вязкости при различных температурах за исключением ν_r, T_r , приводящего к неопределенности вида [0/0]. Далее находится среднее значение параметра агрегации по формуле:

$$\bar{a} = \frac{1}{m} \sum_{i=r}^m \frac{\ln(\nu_i/\nu_r)}{\ln(T_r/T_i)}. \quad (6)$$

Среднее значение необходимо проверить на представительность по критерию однородности множества и затем использовать в уравнении (4) для получения расчетных значений и сравнения с экспериментальными по

коэффициенту корреляции. Статистическую однородность полученного множества значений оценивают по критерию Налимова [3, с. 14].

Тесноту связи экспериментальных и рассчитанных по уравнению (4) данных оцениваем с помощью коэффициента нелинейной множественной корреляции с определением его значимости t_r .

На основании значимости коэффициента корреляции оцениваем доверительный интервал для расчетных значений функций. Для определения степени округления находим дисперсию адекватности.

Реперную точку целесообразно фиксировать вблизи точки кристаллизации, но не в самой точке, так как при пониженных температурах вязкость определяется более надежно и имеет наиболее высокие значения. В самой же точке кристаллизации вязкость эмульсии может быть завышенной против вязкости чисто жидкого состояния из-за возможного присутствия некоторого количества равновесной твердой фазы.

Покажем применимость предлагаемых моделей на примере расчета вязкости индия. По индию в справочнике [4] даны значения $T_m = 429,56$ К и $T_b = 2273-2373$ К (средняя 2323 К). Здесь же приведены данные по кинематической вязкости, которые сравнили с рассчитанными по моделям $\nu(1) - \nu(4)$ (таблица 1, рисунок 1). Реперной точкой является точка с $T_r = 443$ К и $\nu_r = 2,433 \cdot 10^{-7}$ м²/с.

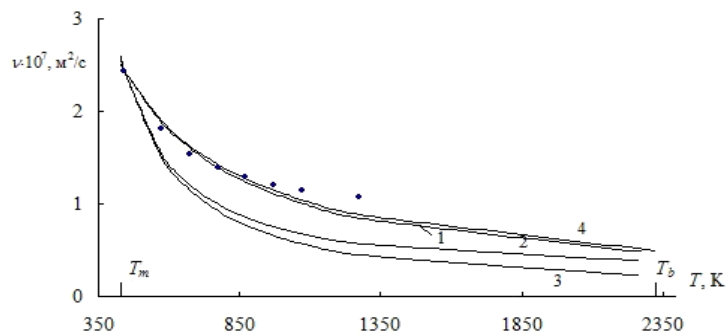
Таблица 1 – Сопоставление экспериментальных [4] и рассчитанных по моделям (1)-(4) данных по кинематической вязкости индия, $\nu \cdot 10^7$, м²/с

T	$\nu(\text{эксп})$	$\nu(1)$	$\nu(2)$	$\nu(3)$	a	$\nu(4)$
$T_m=429,6$	-	2,509	2,582	2,586	-	2,506
443	2,433	2,433	2,433	2,433	-	2,433
573	1,809	1,881	1,545	1,510	1,152	1,901
673	1,542	1,602	1,206	1,150	1,091	1,629
773	1,392	1,394	0,995	0,922	1,003	1,427
873	1,288	1,235	0,853	0,766	0,938	1,270
973	1,203	1,108	0,751	0,653	0,895	1,144
1073	1,142	1,004	0,676	0,568	0,855	1,042
1273	1,069	0,847	0,573	0,450	0,779	0,884
$T_b=2323$	-	0,464	0,374	0,212	-	0,497
R	-	0,981	0,143	< 0	-	0,986

По результатам сравнения наиболее адекватными являются первая и четвертая модели. Коэффициенты корреляций соответственно равны 0,981 и 0,986. Как видно, для вычисления вязкости индия достаточно применять модель более общего вида (4).

Среднее значение ассоциированности кластеров $\bar{a} = 0,96$. Хотя для индия имеется достаточное количество экспериментальных данных, $\bar{a} < 1$ объясняется тем, что он является химическим аналогом галлия и отличается хорошей жидкотекучестью.

Однородность полученного множества для a по критерию Налимова соблюдается: $S(x) = 0,405$; $r_{\min}^{\max} = 0,514 < r_{cr} = 2,004$.



v – кинематическая вязкость, T – температура.

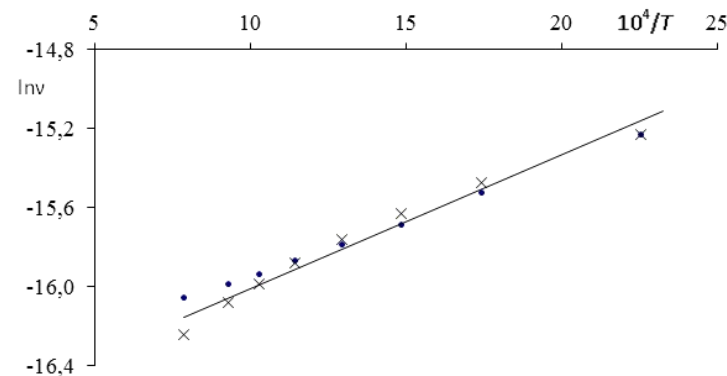
Точки – экспериментальные данные [4], 1 – по модели (1), 2 – по (2), 3 – по (3), 4 – по (4)

Рисунок 1 – Зависимость кинематической вязкости индия от температуры

С учетом степени ассоциированности кластеров в качестве обобщенной модели вязкости расплавов в полном диапазоне температур можно использовать модель (4) с реперной точкой вблизи температуры плавления $T_r = 443$ К по кинематической вязкости индия с нахождением доверительного интервала и с округлением

$$v = 8,389 \cdot 10^{-5} / T^{0,96} \pm 3,06 \cdot 10^{-9}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (7)$$

В рассматриваемом интервале температур вычислена энергия активации Дж/моль, $E_a = 4681$ для обобщенной модели энергия активации равна $E_a' = 5629$ Дж/моль.



v – кинематическая вязкость, T – температура.

Точки – экспериментальные данные, крестики – для модели (7), прямая – по уравнению $\ln v = \ln A' + E_a' / (RT)$

Рисунок 2 – Зависимость логарифма кинематической вязкости индия от обратной температуры

ВЫВОДЫ

1. Создается возможность определить температурную зависимость вязкости на основе концепции хаотизированных частиц в полном диапазоне жидкого состояния на основе единой модели, учитывающей степень ассоциации кластеров из динамически существующих кристаллоподвижных частиц.

2. Полученная обобщенная модель температурной зависимости вязкости может быть использована для расчета энергии активации вязкого течения расплава в комбинации с уравнением Френкеля. Однако необходимо представлять обобщенную зависимость в координатах $\ln v - 1/T$ для выделения псевдопрямолинейных участков с целью обработки их по модифицированному уравнению Френкеля и определением величины энергии активации разуплотнения и вязкого течения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Малышев, В. П., Турдукожаева, А. М., Кажикенова, А. Ш.** Разработка универсальной полужемпирической модели вязкости на основе концепции хаотизированных частиц // Доклады НАН РК. – 2009. – № 3. – С. 63-69.

2 **Турдукожаева, А. М.** Применение распределения Больцмана и информационной энтропии Шеннона к анализу твердого, жидкого и

газообразного состояний вещества (на примере металлов): автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.16.08. – Караганда : ХМИ, 2008. – 32 с.

3 **Малышев, В. П., Абдрахманов, Б. Т., Нурмагамбетова, А. М.** Плавкость и пластичность металлов. – М. : Научный мир, 2004. – С. 148.

4 Свойства элементов: Справ. изд. – В 2 кн. Кн. 1 // Под ред. Дрица М. Е. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. дом «Руда и Металлы», 2003. – С. 448.

Материал поступил в редакцию 13.01.16.

А. Ш. Қажыкенова¹, Д. Б. Әлібиев¹, И. С. Қауымбек¹, А. М. Макашева², Н. А. Испулов³

Ретсізденген бөлшектер тұжырымы негізінде сұйық индийдің тұтқырлықтың кластер-ассоциативті үлгісі

¹Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды қ.;

²Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды қ.;

³С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 13.01.16 баспаға түсті.

A. Sh. Kazhikenova¹, D. B. Alibiev¹, I. S. Kauymbek¹, A. M. Makasheva², N. A. Ispulov³

Cluster-associate models of liquid indium viscosity based on the concept of randomized particles

¹E. A. Buketov Karaganda State University, Karaganda;

²Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda;

³S. Torayghyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 13.01.16.

Кристалданған бөлшектерінің біркелкі моделінің сұйық күйіндегі элементарлық кластерінің балқыған металдың температуралық тұтқырлығының тәуелділігі анықталған. Тұтқырлықтың температурадан тәуелділік жалтыланған формасы, металл ерітіндісінің ағын энергиясының құлшынысын санауға Френкель теңдеуімен бірге қолданылған. Жаңа жартылай эмпириялық моделі тұтқырлық пен температура арасында тәуелділігінің анықтамалық индий ерітіндісі арқылы көрсетілген. Индий балқымасына негізделіп алынған модельдің басқа балқымаларға қолдануы көрсетілген.

The temperature dependence of copper's fusion viscosity is defined on the basis of the concept of randomized particles in the full range of the liquid state on the uniform model considering degree of association of the elementary clusters of dynamically existing crystal mobility particles. The received form of temperature dependence of viscosity can be used for calculation of energy of a viscous current fusion activation in a combination with Frenkel's equation. The applicability of the resulting model to the alloys melts, for example Indium melt is shown.

ӘОЖ 621.311.016.3

А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов², В. П. Марковский³, Ж. Жанат⁴, С. Е. Айтжанов⁴, Қ. Б. Жақып⁴, Д. Ф. Файзулла⁴, Қ. Е. Джансаринов⁴, Ж. М. Оспанова⁴

¹магистр; ²т.ғ.к., қауымдастырылған профессор; ³т.ғ.к., профессор, «Электрэнергетика» кафедрасының меңгерушісі; ⁴студенттер, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

e-mail: zhanik_94_kz@mail.ru

ЭЛЕКТРМЕН ҚАМТАМАСЫЗДАНДЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҒТАЙЛАНДЫРУ ҮШІН ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫН ЖҮЙЕЛІК РЕТТЕУ

Мақалада Қазақстанның жалты ішкі өнімінің энергетикалық сыйымдылығы және электрэнергетикадағы энергетикалық тиімділік пен үнемдеуді жосарылату әдістері жөнінде айтылған.

Кілтті сөздер: Қазақстанның энергетикалық ЖІӨ-і, энергетикалық тиімділік, энергетикалық үнемдеу, электрэнергетика.

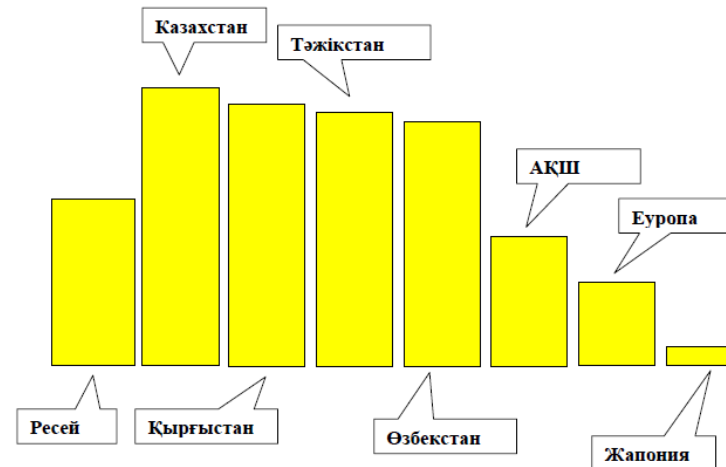
Индустрия министрлігі және Қазақстан Республикасы жаңа технологияларының мәліметтері бойынша Қазақстанның ішкі жалпы өнімнің (ІЖӨ) энергиялық сыйымдылығы қазіргі уақытта 1,9 құрайды, Беларусь энергиялық сыйымдылығы 1,17, Ресей ІЖӨ энергиялық сыйымдылығы 0,49 құрайды, қай кезде Жапония ІЖӨ энергиялық сыйымдылығы 0,1, яғни 19 есе қазақстандық көрсеткіштерден төмен (сур. 1). АҚ «Самрук-Энерго» басқарма төрағасы Алмасадам Саткалиев ҮН KAZENERGY Еуразиялық энергетикалық форумында ІЖӨ энергиялық сыйымдылығы 2020 жылда 1,9 дан 1,425 дейін төмендейтінін және бұл қазіргі Жапония ІЖӨ энергиялық сыйымдылығынан 14 есе асып түсетінін белгіледі [1].

Дегенмен, өндірістің энергиялық сыйымдылығын немесе ІЖӨ салыстыру кезінде міндетті түрде өндіріс сипаттамасын, кәсіпорын даму деңгейін, технология деңгейін есепке алу керек. Радиоэлектроника және жеңіл кәсіпорын саласында маманданатын мемлекеттің ІЖӨ энергиялық сыйымдылығын салыстыруға болмайды, мысалы, Прибалтика мемлекеттерін, және ауыр индустрия саласында маманданатын мемлекеттердің ІЖӨ энергиялық сыйымдылығын [2].

Мысалы, Қазақстанда жоғары және бұл ақталған, өнеркәсіп секторында электр энергияны тұтыну бірінші кезекте түсті және қара металлургия, мұнай және таулы өнеркәсіп сияқты өнеркәсіп салаларымен келісілген. Мемлекетте 72 % ортақ энергия тұтынуына және 42 % ортақ жылу тұтынуы өнеркәсіп секторына келеді, қай кезде Еуропалық одақта өнеркәсіп секторымен электр энергия тұтынуының бөлігі 24 % құрайды. Бұдан басқа, климат себепшарттары туралы ұмытпауымыз керек. Егер Еуропада қыс 3 ай созылса, онда бізде 6 айдан кем емес. Сондықтан әрбір Еуропадағы өндіріс біздікіне қарағанда әлдеқайда рентабельдірек болады.

Дегенмен энергия үнемдеу және энергия тиімділігі сұрақтары біздің елімізде де маңызды. Солай Мининдустриямен 2012-2015 жылдарына электр энергия үнемдеу және энергия үнемділігін жоғарылату салаларына сала бағдарламасы жасалып шығарылды, бұның мақсаты: отын-энергетикалық ресурстарын тиімсіз қолдануын қысқарту есебінен энергия сыйымдылығын төмендетуге себептесу, мекемелер, ғылымдық, техникалық, мемлекеттік бюджетпен үйлестірілген экономикалық және қаржылық шара кешендерін өндіру. Нәтиже ретінде, өнеркәсіптік және энергетикалық секторларда бастапқы энергияның жылдық үнемділігі – 7 млн. тонна мұнай эквивалентінен (т.м.э.) кем емес, ал тұрғын-коммуналды және бюджеттік секторларда энергия шығысының қысқаруы – 2,5 млн. т.м.э. кем емес [1].

Қазақстандық экономиканың энергия тиімділігін жоғарылатудың бір нұсқасы ретінде басқару жүйелеріне аймақтық, өнеркәсіптік және корпоративтік электротехникалық комплекстермен деректер қорын жасау, жалпы нормадан ауытқыған объекттерді анықтау, болжау және нормаландыру кезендері кіретін электр энергия тұтынуын үйлесімді басқару әдістемелерін енгізу болып келеді [1].



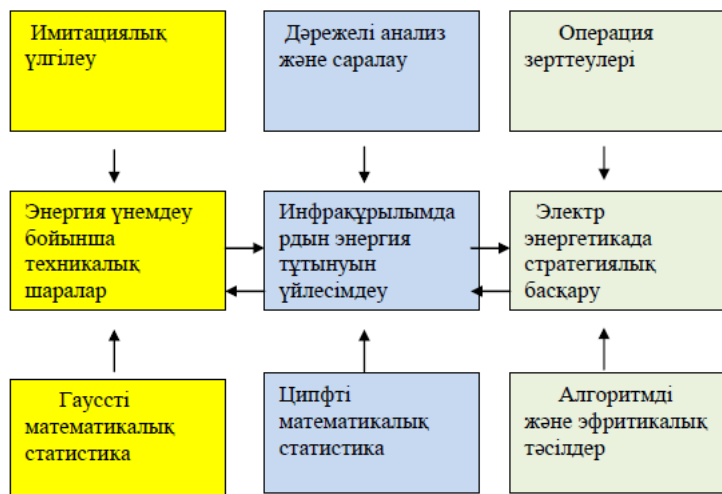
Сурет 1 – Өнеркәсіптік өндірістің энергетикалық сыйымдылығы

Электр энергетикада энергия үнемдеудің негізін техникалық және технологиялық шара кешендерін жоспарлы іске асыру құрайды және де бұларда жүйелік деңгейде инфрақұрылымның энергиямен қамтамасыздандыруының үйлесімділігі алдын ала болуы керек [3].

Электр энергияны үнемдеу саласында методология зерттеулері шартты түрде үш деңгейге бөлінуі мүмкін (сур. 2).

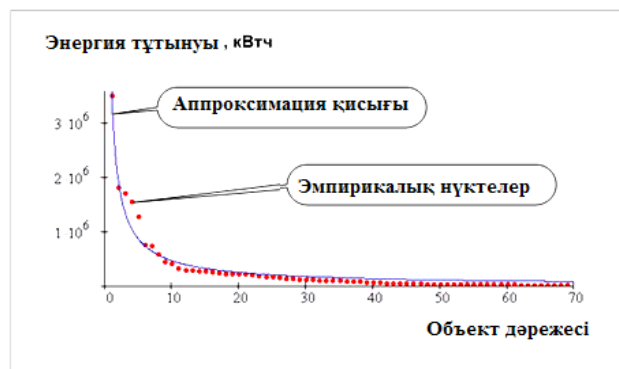
Бірінші деңгей (сары – түс шартты түрде таңдалды) зерттеулерге сай, нақты техникалық және технологиялық жасалымдарға бағытталған, электр энергия тұтынуын төмендетуге себептесетін (ескірген жарық техникасы аппараттарын алмастыру, энергия үнемдейтін жиілікті реттелетін электр жетектерін енгізу, ғимарат және құрылыстардың және т.б. ішкі электр жабдықтарын жетілдіру). Методология негізінде мұнда гауссты таратылу аксиоматикасында негізделетін жасанды модельдеу жатыр. Бұл ықтимал түйіншектерді модельдеу кезінде жұмыс істеу және параллель сыңайлы алгоритмдер заңдарын анықтау кезінде кең қолданысқа қол жеткізеді.

Басқа жағынан, үшінші (сұр) зерттеулер деңгейінде (сур. 2) стратегиялық жоспарлау және электр энергетикадағы болжау жүзеге асырылады (энергетикалық жүйеде жүктеме максимумдарымен оңтайландыру, электр беріліс желілерінде жоғалтулардың төмендеуі, қуат коэффициентін тиімді бақылау және т.б.). Мұнда электромагниттік өріс, электрлік шынжыр теориясы және операция зерттеулері методология теориясында қолданыс табады.



Сурет 2 – Энергия үнемдеу саласындағы методологиялық зерттеулер деңгейлері

Дәрежелі анализ негізінде техноценологиялық [4] тәсілдеме және шексіз бөлінетін дәрежелі тараулар теориясы жатыр (сур. 3).



Сурет 3 – Энергия тұтыну бойынша дәрежелі параметрлік тарату

Алынған дәрежелік таралымдар инфрақұрылымның энергия тұтынушы объектілеріне сүйене отырып саралау экспериментті мәліметтер аппроксимациясы нәтижелері бойынша орындалады. Объекттерді саралау олардың энергия тұтынуының кемуі бойынша орындалады. Сонымен бірге бірінші дәреже ең көп энергия тұтынушы объектіге иеленеді, екінші

– біріншіден басқа энергия көп тұтынған объектіге иеленеді және т.б. Нәтижесінде дәрежеден энергия тұтыну тәуелділіктерінің (кВт·сағ ордината осі бойынша қойылады) ретті кестесі шығады және бұл дәрежелі параметрлік тарату деп аталады (сур. 3).

Энергия тұтынуды жүйелік реттеу елеулі капиталды салымдарсыз тұтынатын электр энергия үшін жылдағы төлемдердің 10-15 % көлеміне дейін үнемдеуге сөзсіз мүмкіндік береді. Бірақ, бұл панацея емес. Себебі энергия тұтынуды директивалық шектеу өндіріске жағымсыз әсер етуі мүмкін. Сондықтан екінші кезеңмен энергия үнемдеуші технологияларды және құралдардың одан да әрмен үнемдеуін қамтамасыз ететін техникалық шешімдерді енгізуін орындау қажет [5].

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Шапкенов, Б. К.** Обеспечение непрерывного функционирования предприятий при отключении электроэнергии Междунар. науч.-практич. конф. «Снижение рисков и ликвидация последствий ЧС природ и техноген. характера – приоритетные направления социальной безопасности и устойчивого развития в северных регионах РК. – Павлодар, 2009. – С. 68-73.

2 **Шапкенов, Б. К.** Многоуровневая защита деятельности предприятий от аварий и негативных факторов». Журнал «Комплексная безопасность». – № 10. – 2009. – С. 115-119.

3 **Гнатюк, В. И.** Закон оптимального построения техноценозов. – Выпуск 29. Ценологические исследования. – М. : Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005. – 384 с.

4 **Шапкенов, Б. К.** Снижение рисков в системах электроснабжения и коммунациях категорированных предприятий / Материалы междунар. науч.-теоретич. конф. «III Торайгыровские чтения». – 3 Том. – 2009. – С. 466-475.

5 **Иванова, Е. В., Шапкенов, Б. К., Кайдар, А. Б.** «Актуальность внутренних и трансграничных межсистемных связей для энергетики Казахстана». Наука и образование в XXI веке: динамика развития в евразийском пространств // Материалы III междунар научно-практич конф. Инновационный Евразийский университет. – Павлодар, 2012. – Т.2. – С. 41-45.

Материал 10.02.16 баспаға түсті.

А. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, В. П. Марковский, Ж. Жанат, С. Е. Айтжанов, Қ. Б. Жақып, Д. Ф. Файзулла, Қ. Е. Джансарин, Ж. М. Оспанова

Системное регулирование энергопотребления для оптимизации параметров систем электроснабжения

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар
Материал поступил в редакцию 10.02.16.

*A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, V. P. Markovsky, Z. Zhanat, S. E. Aitzhanov,
K. B. Zhakyp, D. F. Faizulla, K. E. Dzhansarinov, Z. M. Ospanova*

System energy management to optimize the parameters of power supply systems

S.Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 10.02.16.

В статье говорится о энергоёмкости внутреннего валового продукта Казахстана и о методах повышения энергоэффективности и энергосбережения в электроэнергетике.

The article describes the energy intensity of the gross domestic product of Kazakhstan and the methods of increasing the energy efficiency and energy saving in electric power industry.

ЭОЖ 621.32

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов², В. П. Марковский³,
Ж. Жанат⁴, С. Е. Айтжанов⁴, Қ. Б. Жақып⁴,
Д. Ф. Файзулла⁴, Қ. Е. Джансаринов⁴, Ж. М. Оспанова⁴**

¹магистр; ²т.ғ.к., қауымдастырылған профессор; ³т.ғ.к., профессор, «Электрэнергетика» кафедрасының меңгерушісі; ⁴студенттер, С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
e-mail: zhanik_94_kz@mail.ru

ЭЛЕКТР ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ ЖАҢҒЫРТЫЛАТЫН ҚҰАТ КӨЗІМЕН БІРГЕ ЕНДІК- ИМПУЛЬСТІК КЕРІЛЕУІШ МОДУЛЯЦИЯСЫНЫҢ ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

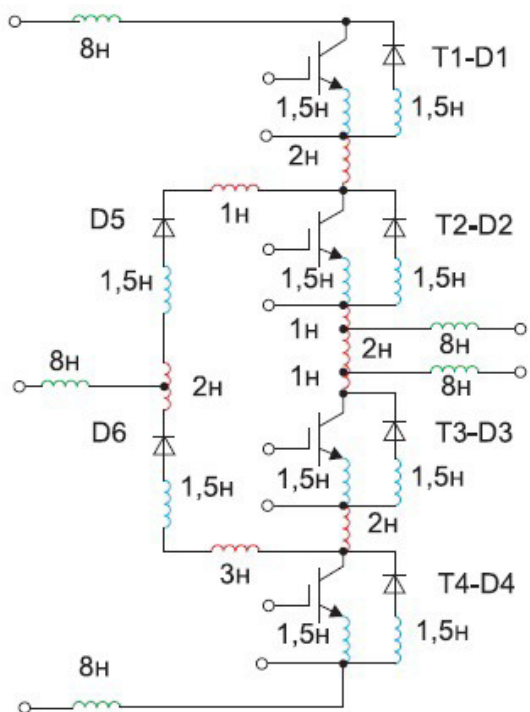
Мақалада жаңғыртылатын құат көзімен бірге ендік-импульстік керілеуіш модуляциясының тәжірибелік зерттеулер сұрақтары шешіледі.

Кілтті сөздер: инверторлар, жартылайоткізгішті элементтер, жылулық кедергі, күштік транзистор

Фото алмастыру құрылғыларымен өндірілетін тұрақты кернеу энергиясын айнмалы ток энергиясына алмастыру үшін, инверторды қолданады. Инвертор топологиясынан [1, 2], принципалды схемасынан [3, 4], коммутациялайтын элементтер параметрінен [5], элементтік базасының окшауланған бекітпесі (Insulated-Gate Bipolar Transistor) және тез қалыпқа келетін FRD диодтары (Fast Recovery Diode) бар күштік биполярлы IGBT транзисторларындағы инвертор дәйектілігі және үнемділігіне байланысты.

1-суретте инвертор модулінің реттелген индуктивті өткізгіштерінің эквивалентті схемасы көрсетілген. Берілген схемада транзисторлар кристалдарының түйіспе аланының индуктивті өткізгішті қосылыстары және DBC-платасы негізіндегі диодтар (*Direct Bond Copper – біріктіру жолымен жасалған керамикалық түптөсеміндегі тура мыстық металдандыру*) көк түсте, индуктивтілік ленталық бөгет жиынтығы және керамикалық платадағы мыс жолақтары – қызылмен, ал күштік терминал индуктивтілігі – жасылмен көрсетілген.

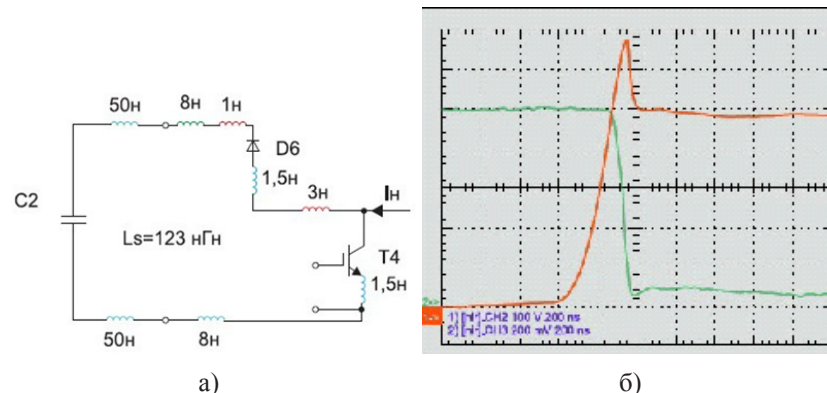
Модульді қоректік күштік конденсаторларына қосқан кезде жиынтықты паразиттік индуктивтілік коммутацияның қысқа және ұзын контурында интегралды модуль құрылысына 123 және 130 нГн сәйкесінше құрады.



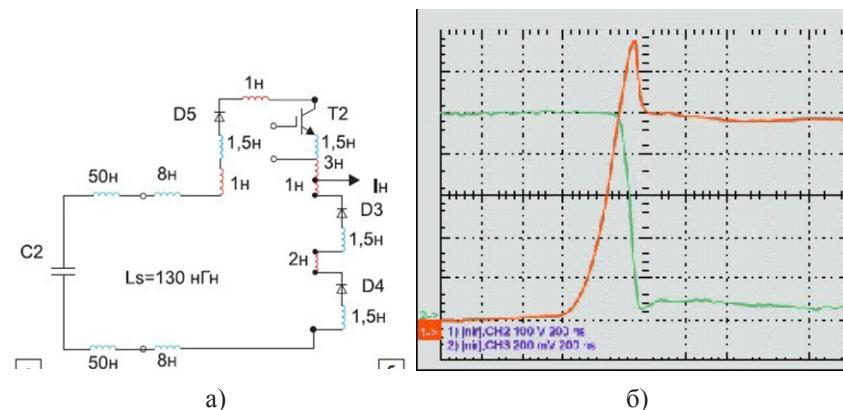
Сурет 1 – Паразиттік индуктивтілігі бар инвертор модулінің эквиваленттік схемасы

Сонымен, модульдің интегралды конструкциясы, симметриялы емес коммутацияларының контурлары үшін паразиттік монтажды индукциялық шамаларының елеулі түрде түзелуіне мүрсат берді.

Берілген дерек тәжірибелік зерттеулермен дәлелденген. 2,а және 2,б суретінде шығу кернеуі 100 В және токтың коммутациялық амплитудасы 100 А кезіндегі «қысқа» және «ұзын» коммутация контурында күштік транзисторлардың сөндіру өтпелі процес осцилограммасы көрсетілген.

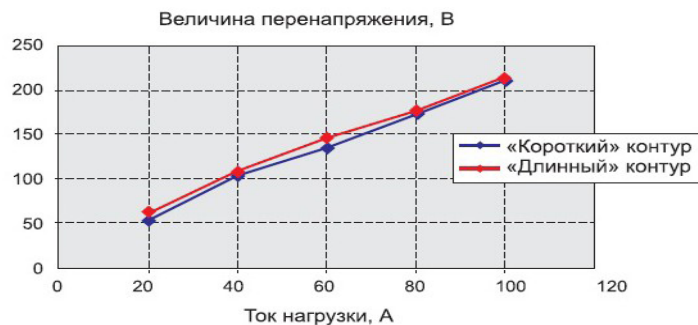


Сурет 2 – Модульдің «қысқа» контуры үшін: а) үлестірілген паразиттік индуктивтілік; б) коммутацияның өтпелі процесі ($I_k - 20 \text{ A/дел}$; $U_{кз} - 100 \text{ В/дел}$; $t - 200 \text{ нс/дел}$)



Сурет 3 – Модуль инверторының «ұзын» контуры үшін: а) үлестірілген паразиттік индуктивтілік; б) коммутацияның өтпелі процесі ($I_k - 20 \text{ A/дел}$; $U_{кз} - 100 \text{ В/дел}$; $t - 200 \text{ нс/дел}$)

4 суретте жүктеме тогынан, контурдың симметриялы емес коммутациясында өлшнген қатты күштену амплитудасының тәуелділігі көрсетілген.



Сурет 4 – Жүктеме тогынан модульдің коммутация контурындағы қатты күштену амплитудасының тәуелділігі

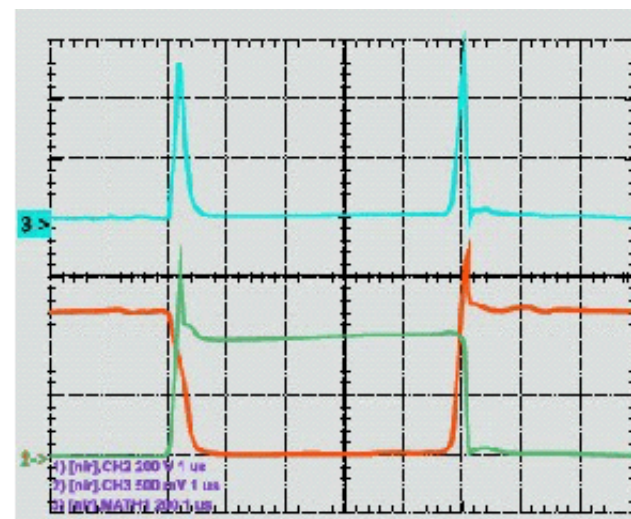
5 суретте индуктивті жүктемеге жұмыс істеу кезіндегі коммутациялар циклдерінің біреуіне күштік модульдегі кернеу және токтын ауыстыра қосу осциллограммалары көрсетілген, сонымен қатар сол кездегі шығатын шапшаң қуатты жылулық жоғалтулар.

Температуралық өрістерінің модельдеу нәтижелері қарастырылып отырған модуль құрылысының жартылайөткізгіш чиптерінің шеткі аймақтарындағы температура ортасына қарағанда өте аз. Соған қарамастан кристалл және орта арасындағы температура құлауы керамикалық DBC-плата қабатына және модуль табаны мен салқындатқыш арасындағы пастаға 80 % жуық болып келеді.

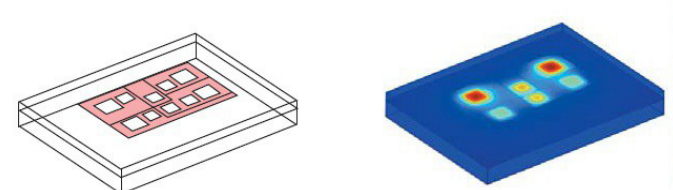
Конструкцияның маңызды параметрлерінің біреуі «чип-орта» жылулық кедергісі болып саналады, сонымен қатар ол жартылайөткізгіш кристаллдың геотермиялық параметрлеріне тәуелді.

Инвертордың жартылайөткізгіш элементтерінің өлшенген температура шамалары жартылай өткізгіштердің температуралық режим жұмысы рұқсат етілген шег аралығында жатқаның көрсетті

6 кестеде есептелген жиынтықты жылулық жоғалтулар P_{Σ} кезіндегі инвертор модулінің жартылайөткізгіш элементтерінің ΔT максималды қызып кетуі көрсетілген.



Сурет 5 – Индуктивті жүктемеге жұмыс істеу кезіндегі күштік модульдегі өтпелі процестер ($I_k - 50$ А/дел; $U_k - 200$ В/дел; $t - 1$ мкс/дел; $P - 20$ кВт/дел)



Сурет 6 – Күштік модульді инвертор конструкциясындағы температуралық өрісі: T2 және T3 транзисторларымен салыстырғанда T1 және T4 транзисторлары көрнекті қызыған

Кесте 6 – модульді инвертордың жартылай өткізгішті элементтерінің температуралық қызып кетуі

Элементтері	T1	T2	T3	T4	D5	D6
P_{Σ} , Вт	155,9	71,6	71,6	155,9	68,8	68,8
ΔT , °C	31,2	14,4	14,4	31,2	24,1	24,1

«Жартылай өткізгішті аспап-орта» толық жылулық кедергісі транзистор үшін $0,2$ °C/Вт құрайды, ал диод үшін $0,35$ °C/Вт құрайды.

1) Өткізілген инвертор жұмысының тәжірибелік зерттеулері аккумуляторлы энергия қоректендіргіші бар күштік IGBT-модульдерінің қалыптасқан сондай-ақ, өтпелі режим кезіндегі оның жоғары дәйектілігін көрсетті.

2) Құрылғының негізгі электрлік және жылулық қасиеттерін қарастырайық. Модульді күштік элементтеріндегі анықталған жоғалту қуаттары нормальді және $1,25 \cdot I_{ном}$ шамадан тыс жүктеу режимінде IGBT-транзисторларының қатты қызуы әкеп соқтырмайды.

3) Алынған тәжірибелік деректер қосеңгейлі конфигурациялы модульге қарағанда 25 кГц жиілігіндегі 3L күштік модулінің жинақтық динамикалық және статикалық жоғалтулар біржарым есе кем екенін растайды. Коммутация жиілігін 30 кГц-ке дейін арттыру кезінде жинақтық жоғалтулар бойынша ұтыс екі еселенеді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Кислов, А. П., Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К.** Необходимость применения аккумуляторных накопителей в электроснабжении на основе возобновляемых источников. – Вестник ПГУ. – № 2. – 2014.

2 **Кислов, А. П., Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К.** Выбор топологии инвертора с аккумуляторными накопителями. – Вестник ПГУ. – № 2. – 2014.

3 **Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П.** Многоуровневые инверторы для фотопреобразователей // Материалы международной научно-теоритической конференции «VI Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова. – Т1. – 2013. – С. 392-401.

4 **Шапкенов, Б. К., Калиев, Б. З., Кайдар, А. Б.** Монография «Теория и практика энергетических преобразователей». – Saarbrücken, Germany : Издательство «LAP Lambert Academic Publishing», 2014. – 461 с.

5 **Кислов, А. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Иванова, Е. В., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П.** Инверторы на 220 в на Trench IGBT-транзисторах 6 и 7 поколения для солнечных батарей // Материалы международной научно-теоритической конференции «VI Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова. – Т1. – С. 325-332.

А. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, В. П. Марковский, Ж. Жанат, С. Е. Айтжанов, К. Б. Жақып, Д. Ф. Файзулла, К. Е. Джансарин, Ж. М. Оспанова

Экспериментальные исследования инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 10.02.16.

А. В. Kaidar, B. K. Shapkenov, V. P. Markovsky, Z. Zhanat, S. E. Aitzhanov, K. B. Zhakup, D. F. Faizulla, K. E. Dzhansarinov, Z. M. Ospanova

Pulse-width modulation inverter's experimental studies in power supply system with renewable energy sources

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 10.02.16.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии

In the article there are described the experimental results of inverter's pulse-width modulation in power supply system with renewable energy sources.

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов², В. П. Марковский³,
Ж. Жанат⁴, С. Е. Айтжанов⁴, Қ. Б. Жақып⁴,
Д. Ф. Файзулла⁴, Қ. Е. Джансарин⁴, Ж. М. Оспанова⁴**

¹магистр; ²т.ғ.к., қауымдастырылған профессор; ³т.ғ.к., профессор, «Электрэнергетика» кафедрасының меңгерушісі; ⁴студенттер, С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ. e-mail: zhanik_94_kz@mail.ru

**ЖАҢҒЫРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ БАР
ЭЛЕКТРЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕСІНЕ ЕНДІК-ИМПУЛЬСТІК
МОДУЛЯЦИЯСЫ БАР ИНВЕРТОРДЫҢ КОММУТАЦИЯ
КЕЗЕҢДЕРІНДЕГІ ТОКТЫҢ, ҚУАТТЫҢ СТАТИКАЛЫҚ
ЖОҒАЛТУЛАРЫНЫҢ ОРТАША ЖӘНЕ ӘРЕКЕТ
ЕТЕТІН ШАМАСЫН БАҒАЛАУ**

Мақалада жаңғыртылатын энергия көздері бар электржабдықтау жүйесіне ендік-импульстік модуляциясы бар инвертордың коммутация кезеңдеріндегі токтың, қуаттың статикалық жоғалтуларының орташа және әрекет ететін шамасын бағалау орындалды

Кілтті сөздер: Электрмен жабдықтау жүйесі, жаңғыртылатын энергия көздері, инверторлар, күштік транзисторлар

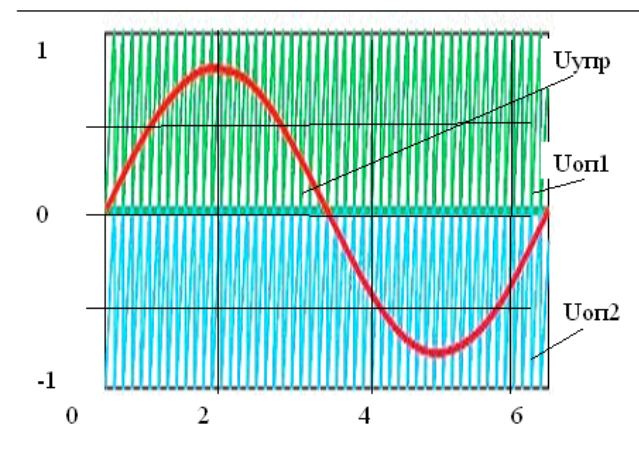
Жаңғыртылатын энергия көздерінен дербес электрмен қамтамасыздандыру системаларының анализі толықтай ең жоғары тұтынуға желгенераторлары немесе артық қуатпен фотоөңдегіштертердің қажеттігін көрсетеді. Жаңғыртылатын энергия көздерінің 2-3 қысқаша жеке қуаттардың үлкеюі құнның ұлғаюына сәйкес алып келуін ескеру.

Содан бері тұтынуға екі еселенген қуаттың ортақ күрделілікке 4 сағаттан кем емес уақытты алады [1]. Түнгі уақытта әсіресе электр арзан кезде (2 тарифті жүйе кезінде), жүргізілген электрлік қуаттар іс жүзінде қолданылмайды.

Өндіріс кезінде және электр энергиясын оның үлкен масштабта жинақталу жолымен тұтынуды таратып беру мүмкіншілігі – шарықтатылған тұтыну орнын толтыруы өте тиімді бір проблеманың шешілу жолы. Бірақта, болашақ белсенді-адаптивті жүйелердің басты элементі болатын электр энергиясын шоғырландыруға жинақтаушы, ал аккумуляторлардың тұрақты кернеуін айнымалы синусоида кернеуіне калыптастыру үшін – инверторлар [2] керек.

Мақалада [2] инвертордың ерекше тиімді топологиясы авторлармен таңдалды және дәлелденді.

3L-сұлбасын [2] басқару үшін екі синфазды тірек сигналдарымен ендік-импульстік модуляция қолданылады (1-сурет).



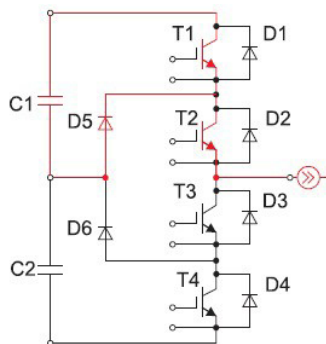
Сурет 1 – Басқарудың кернеуі және синфазды тірек сигналдары

Берілген ендік-импульсті модуляцияның берілген түріне транзистордың Т1реттеу коэффициенті мына өрнекпен анықталады:

$$D(\Theta) = m \cdot \sin\Theta. \tag{1}$$

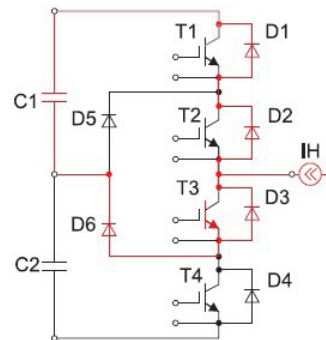
Жүктемнің индуктивті сипаттамасы кезінде тізбек шығатын модульдің тогы синусоида формасын алып және кернеуден фаза бойынша артта қалып жатыр. Шығыс жиілік периодының нәтижесінде үш деңгейлі сұлбада дәйекті түрде коммутацияның төрт контуры жүзеге асырылады [3]:

- оң шығатын кернеуде және жүктемелер оң токта (2-сурет);



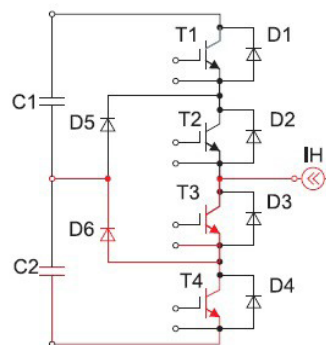
Сурет 2 – Коммутацияның бірінші контуры

- оң шығатын кернеуде және жүктемелер теріс токта (3-сурет);



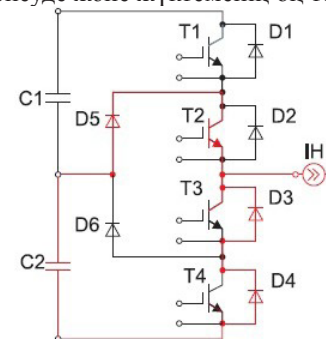
Сурет 3 – Коммутацияның екінші контуры

- теріс қажетті кернеуде және жүктеменің теріс тогында (4-сурет);



Сурет 4 – Коммутацияның үшінші контуры

- теріс қажетті кернеуде және жүктеменің оң тогында (5-сурет).



Сурет 5 – Коммутацияның төртінші контуры

Бірінші және үшінші контурларында коммутация процессі кезінде екі жартылай өткізгіш элементі қатысады. Берілген контурлары салыстырмалы шағын ауданды қамтиды және «қысқа» коммутация контурлары деп аталады.

Екінші және төртінші контурларында коммутация процессі кезінде төрт жартылай өткізгіш элементтері қатысады [4, 5]. Берілген контурлар шамамен екі есе үлкен ауданды қамтиды және «ұзын» коммутация контурлары деп аталады.

1 кестеде коммутация интервалдары, радиандарда бейнеленген, және жартылай өткізгіш элементтер модулінің өткізгіштігінің салыстырмалы ұзақтық күйі, фаза нүктесінің күштік түйінінің үстінде орналасқан.

Кесте 1 – Үш деңгейлі схемасының өзекті элементтерінің өткізгіштілігінің салыстырмалы ұзақтылығы және коммутация интервалдары

Кілт	Коммутация интервалдары	Өткізгіштіліктің ұзақтылығы
T1	$\varphi - \pi$	$D(\Theta) = m \cdot \sin\Theta$
D1	$0 - \varphi$	$D(\Theta) = m \cdot \sin\Theta$
T2	$\varphi - \pi$	1
T2	$\pi - (\pi + \varphi)$	$1 + D(\Theta) = 1 + m \cdot \sin\Theta$
D2	$0 - \varphi$	$D(\Theta) = m \cdot \sin\Theta$
D5	$\varphi - \pi$	$1 - D(\Theta) = 1 - m \cdot \sin\Theta$
D5	$\pi - (\pi + \varphi)$	$1 + D(\Theta) = 1 + m \cdot \sin\Theta$

Схема симметриялы болғандықтан, фаза нүктесінен бастап астында орналасқан жартылай өткізгіш элементтерінде дәл сондай өткізгіштік параметрлері болады, бірақ берілген кілттер үшін коммутация интервалы π радианына орынынан қозғалтылады.

Берілген өткізгіштік параметрлер кезінде әрбір жартылайөткізгіштік элементі үшін өткізгіштік жоғалтулары сонымен қатар орташа және әрекет ететін токтар шамалары есептеліне алады.

Күштік IGBT1 және T4 транзисторлары

Токтың орташа шамасы:

$$I_{cpT1} = I_{cpT4} = I_{nmax} \frac{m}{4\pi} [(\pi - \varphi) \cos \varphi + \sin \varphi]. \quad (2)$$

Токтың әрекет етуші шамасы:

$$I_{\delta T1} = I_{\delta T4} = I_{nmax} \sqrt{\frac{m}{4\pi} \left[1 + \frac{4}{3} \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]}. \quad (3)$$

Өткізгіштіктік жоғалтулардың орташа қуаты:

$$P_{npT1} = P_{npT4} = \frac{m}{4\pi} I_{nmax} V_T [(\pi - \varphi) \cos \varphi + \sin \varphi] + \frac{m}{4\pi} I_{nmax}^2 R_{CE} \left[1 + \frac{4}{3} \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (4)$$

Күштік IGBT2 және T3 транзисторлары

Токтың орташа шамасы:

$$I_{cpT2} = I_{cpT3} = I_{nmax} \frac{m}{4\pi} \left[\frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \right]. \quad (5)$$

Токтың әрекет етуші шамасы:

$$I_{\delta T2} = I_{\delta T3} = I_{nmax} \cdot \sqrt{\frac{m}{4\pi} \left[\frac{\pi - m}{m} + \frac{4}{3} \cos \varphi - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]} \quad (6)$$

Өткізгіштіктік жоғалтулардың орташа қуаты:

$$P_{npT2} = P_{npT3} = \frac{m}{4\pi} \cdot I_{nmax} \cdot V_T \cdot \left[\frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \right] + \frac{m}{4\pi} I_{nmax}^2 R_{CE} \left[\frac{\pi - m}{m} + \frac{4}{3} \cos \varphi - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (7)$$

Жоғары вольтті FRD диодтары D5 және D6

Токтың орташа шамасы:

$$I_{cpD5} = I_{cpD6} = I_{nmax} \frac{m}{4\pi} \cdot \left[\frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \right]. \quad (8)$$

Токтың әрекет етуші шамасы:

$$I_{\delta D5} = I_{\delta D6} = I_{nmax} \sqrt{\frac{m}{4\pi} \cdot \left[\frac{\pi - m}{m} - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]}. \quad (9)$$

Өткізгіштіктік жоғалтулардың орташа қуаты:

$$P_{npD5} = P_{npD6} = \frac{m}{4\pi} \cdot I_{nmax} \cdot V_F \cdot \left[\frac{4}{m} - \frac{\pi - 2}{\pi} \cos \varphi - \frac{2}{\pi} \sin \varphi \right] + \frac{m}{4\pi} I_{nmax}^2 R_{AK} \left[\frac{\pi - m}{m} - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (10)$$

Жоғары вольтты тұйықтағыш (кері) FRD диодтары D1, D2, D3 және D4

Жүктеменің индуктивті мінезі кезінде және қуат коэффициенті $\cos \varphi = 0,8$ кезінде кері диодтар салыстырмалы қысқа жиілікті шығу период интервалдарында тоқты өткізеді [4]. Сондықтан берілген диодтарда өткізгіштік жоғалтулары сәйкесті транзистор элементтер жоғалтуларының 10-12 % аспайды.

3L-схемасындағы негізгі модуль элементтеріндегі кернеу екі есе аз болғандықтан, модуль конструкциясында максималды кернеуі 1200 В жартылайөткізгішті транзистор және диодтар кристаллдары қолданылады. Берілген чиптер түптөсемде негізгі қабаты аз болып өндіріледі және 1700 В кристаллға қарағанда өткізгішті аумақтарында кем дифференциалдық кедергі және бөлу кернеу шамасы бар.

Жоғары вольттік (1200 В) күштік IGBT транзисторлар және диодтардың FRD вольтамперлік сипаттамасының (BAC) аппроксимацияның типтік параметрлері болып табылады:

- Транзистордың бөлу кернеуі $V_T = 1,5$ В;
- Транзистордың дифференциалды кедергісі $R_{CE} = 10$ мОм;
- Диодтың бөлу кернеуі $V_F = 1,5$ В;
- Диодтың дифференциалды кедергісі $R_{AK} = 8$ мОм;

Модульдің негізгі элементтер үшін тоқтық және орташа статикалық жоғалтулар қуатының есептелген шамалары 2 және 3 кестеде көрсетілген.

Кесте 2 – Модульдің өзекті элементтерінің орташа және әрекетті токтар шамалары

Параметр	Токтың орташа мәні, А			Токтың әрекетті мәні, А		
	T1 және T4	T2 және T3	D5 және D6	T1 және T4	T2 және T3	D5 және D6
Мағынасы	16,6	31,3	31,2	37,2	49,8	42,5

Кесте 3 – Модульдің өзекті элементтеріндегі статикалық жоғалтулар қуаты

Параметр	Өткізгіштіктің орташа жоғалтулар қуаты, Вт				
Элементтер	T1 және T4	T2 және T3	D1 және D4	D2 және D3	D5 және D6
Мағынасы	38,7	71,6	3,9	7,2	63,4

4 кестеде 3L-модуль элементтеріндегі динамикалық және статикалық жоғалтулардың жинақтық қуаты көрсетілген.

Кесте 4 – Модульдің өзекті элементтеріндегі жоғалтулардың жинақтық қуаты

Параметр	Жоғалтулардың жинақтық қуаты P_{Σ} , Вт				
	T1 және T4	T2 және T3	D1 және D4	D2 және D3	D5 және D6
Мағынасы	155,9	71,6	3,9	7,2	68,8

ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған талдау және өткізілген зерттеулер энергетика үшін энергия түрлендіруші жүйелердің ең жоғарғы энергетикалық тиімділікке қол жеткізу үшін бірнеше жолдарды қолайлы екенін көрсетті, қайсыларының ішінен айрықша маңызды деп келесілерді белгілеуге болады:

1) Кернеуі бірліктерден ондаған киловольтқа дейін үлкен қуатты түрлендіретін жүйелердегі көп деңгейлі жартылай өткізгішті түрлендіргіштерді қолдану;

2) Жүйенің орнатылған қуатын жоғарылату үшін жартылай өткізгішті параллель қосылуларын қолдану;

3) Жартылай өткізгішті түрлендіргіштерге ең жақсы сапалы көрсеткішті режимдарда жұмыс істеуге мүмкіндік беретін тиімді басқару алгоритмдерін пайдалану;

4) Көп деңгейлі түрлендіргіштерді қолдану электр энергияны түрлендіру сапалығын жоғарылатуда, салмағын, габаритін және ауыспалы ток тізбегіндегі сүзгіш құнын төмендету арқасында ең жоғарғы энергия тиімділігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұдан басқа, көп деңгейлі түрлендіргіштер жартылай өткізгіш аспаптарын кернеу бойынша төмен қатармен және құнына сәйкес қолдануға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Кислов, А. П., Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К. Необходимость применения аккумуляторных накопителей в электроснабжении на основе возобновляемых источников. – Вестник ПГУ. – № 2. – 2014.

2 Кислов, А. П., Кайдар, А. Б., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К. Выбор топологии инвертора с аккумуляторными накопителями. – Вестник ПГУ. – № 2. – 2014.

3 Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К., Кислов, А. П., Марковский, В. П. Многоуровневые инверторы для фотопреобразователей // Материалы международной научно-теоритической конференции «VI

Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова. – Т1. – 2013. – с. 392-401.

4 Шапкенов, Б. К., Калиев, Б. З., Кайдар, А. Б. Монография «Теория и практика энергетических преобразователей». – Saarbrucken, Germany : Издательство «LAP Lambert Academic Publishing», 2014. – 461 с.

5 Кислов, А. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Иванова, Е. В., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П. Инверторы на 220 В на Trench IGBT-транзисторах 6 и 7 поколения для солнечных батарей // Материалы международной научно-теоритической конференции «VI Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова. – Т1. – С. 325-332.

Материал 10.02.16 баспаға түсті.

А. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, В. П. Марковский, Ж. Жанат, С. Е. Айтжанов, К. Б. Жакып, Д. Ф. Файзулла, К. Е. Джансарин, Ж. М. Оспанова

Оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар
Материал поступил в редакцию 10.02.16.

A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, V. P. Markovsky, Z. Zhanat, S. E. Aitzhanov, K. B. Zhakyp, D. F. Faizulla, K. E. Dzhanarinov, Z. M. Ospanova

The average and RMS values of the current, power of static loss for the levels of inverter switching in power supply systems with renewable energy sources

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 10.02.16.

В статье выполнена оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии

In the article there are estimated the average and RMS values of the current, power of static loss for the levels of inverter switching in power supply systems with renewable energy sources.

**A. B. Kaidar¹, A. P. Kislov², B. K. Shapkenov³,
V. P. Markovsky⁴, A. V. Antontsev⁵**

¹master of engineering, chief specialist of JSC «Management Company free economic zone «HimPark Taraz», Kazakhstan; ²c.t.s., professor, Dean of the Faculty of Energy; ³c.t.s., professor, department of electric power industry; ⁴c.t.s., professor, head of department of Electric power industry; ⁵master, assistant, department of electric engineering and automation, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan

e-mail: electroniq@mail.ru

ANALYSIS OF MULTILEVEL INVERTERS USING VARIABLE CARRIER FREQUENCY BASED ON PWM TECHNIQUES

In this paper, various pulse width modulation techniques are proposed, which can minimize total harmonic distortion and enhance the output voltages in five-level inverters.

Key words: multilevel inverters, sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal, harmonics, variable switching frequency, total harmonic distortion.

1. Introduction

Recently, multilevel inverters have become more attractive to researchers and industrial companies due to fast developing of high power devices, and related control techniques. Different multilevel inverter structures are cascaded H-bridge, diode clamped and flying capacitor [1-4]. Increasing the number of levels in the inverter without requiring higher ratings on individual devices can increase the power rating [5]. The advantages of multilevel inverters are an enhanced output voltage, reduced total harmonic distortion, and reduced voltage stress on semiconductor switches and a decrease in EMI problems [6-10].

In this paper, two carrier based pulse width modulation schemes, namely phase disposition and phase opposition disposition variable switching frequency multicarrier pulse width modulation, are presented. These techniques take advantage of special properties available in multilevel inverters to minimize total harmonic distortion and increase output voltage [11-14]. Illustrative examples are provided to demonstrate the feasibility of the proposed methods.

2. Three Phase Cascaded Multilevel Inverter

A three phase cascaded multilevel inverter is shown in Fig.1.

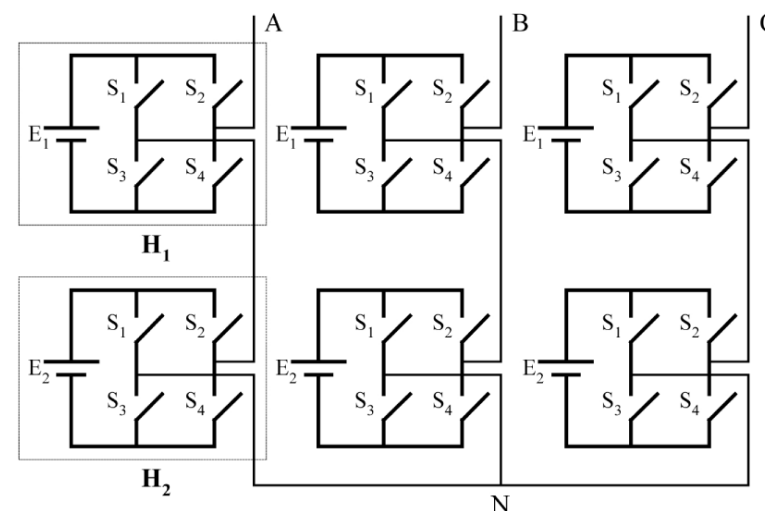


Figure 1 – Three phase cascaded five level inverter

The circuit is designed for a five-level inverter consisting of 12 switches. Each DC source connected with its respective H-bridge, and generates three different output voltages, +Vdc, 0, and -Vdc, using various combinations of switching. The output of the multilevel inverter is synthesized by H-bridges connected in series. The number of output phase voltage levels in a cascaded inverter is given as $m=2s+1$, where s is the number of separate DC sources and m is the inverter level.

3. Variable Switching Frequency Multicarrier Pulse Width Modulation

In this chapter the analysis of variable switching frequency multicarrier PWM techniques are presented. Here variable frequency carrier signals are compared with reference voltage. In variable switching frequency PWM techniques PD, POD modulating techniques are proposed using sinusoidal and sinusoidal with zero sequence pulse width modulation methods.

3.1. Phase disposition Pulse width modulation

3.1.A. Sinusoidal Pulse Width Modulation

Fig. 2 shows the sinusoidal pulse width modulation of an m -level inverter, $(m-1)$ carriers with the same frequency f_c and same amplitude A_c are positioned such that the bands they occupy are contiguous. The reference waveform has peak to peak amplitude of A_m and a frequency f_m . Its zero amplitude is centered in the middle of the carrier set. The reference is continuously compared to each of the

carrier signals. If the amplitude of the reference is greater than the amplitude of the carrier signal, then the switch corresponding to that carrier is switched

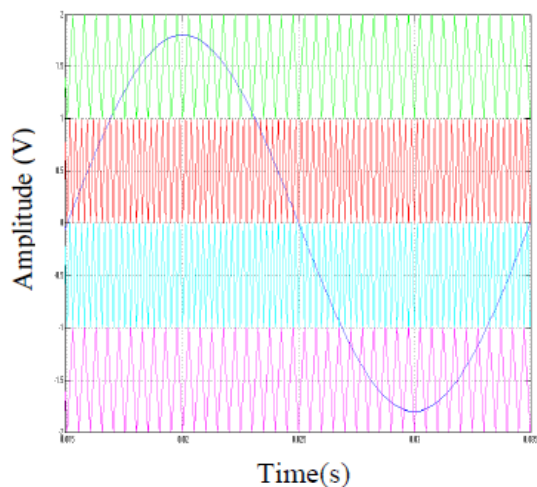


Figure 2 — Phase disposition sinusoidal pulse width modulation

In multilevel inverters, the amplitude modulation index M_a and the frequency ratio M_f are defined as:

$$M_a = \frac{A_m}{(m-1) \cdot A_c} \tag{1}$$

$$M_f = \frac{f_c}{f_m} \tag{2}$$

In this technique, as carriers are in phase across all the bands, significant harmonic energy is concentrated at the carrier frequency. Since, it is a co-phasal component, the line to line voltage does not appear. Here, the carrier waves having variable switching frequencies of 2000 Hz and 4000 Hz are compared with the reference wave of 50 Hz as shown Fig. 3.

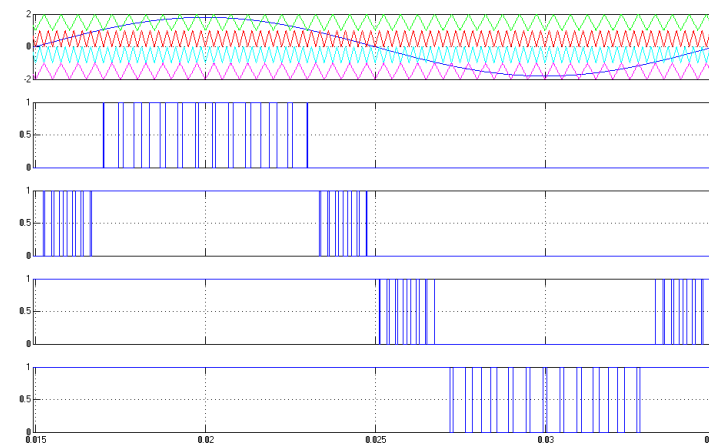


Figure 3 — Phase disposition sinusoidal pulse width modulation generation

3.1.B. Sinusoidal with Zero sequence Pulse Width Modulation

Fig. 4 shows the sinusoidal pulse width modulation with zero sequence in which a triplen harmonic voltage is added to each of the reference waveforms.

The method takes the instantaneous average of the maximum and minimum of the three reference voltages (V_a, V_b, V_c) and subtracts the value from each of the individual reference voltages to obtain the modulation waveforms:

$$V_{off} = \left\{ \frac{\max(V_a, V_b, V_c) + \min(V_a, V_b, V_c)}{2} \right\} \tag{3}$$

$$V_a^{SZS} = V_a - V_{off} \tag{4}$$

$$V_b^{SZS} = V_b - V_{off} \tag{5}$$

$$V_c^{SZS} = V_c - V_{off} \tag{6}$$

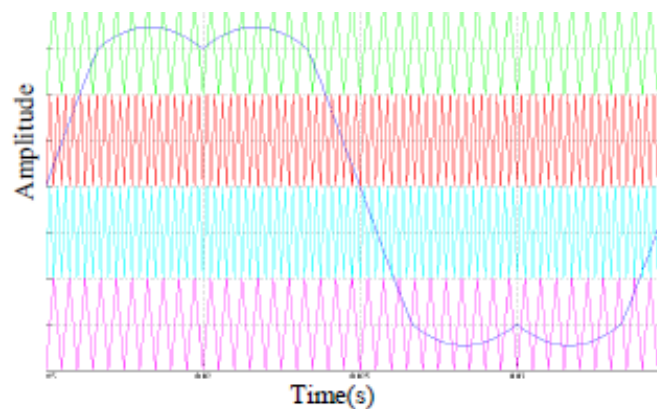


Figure 4 — Phase disposition sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

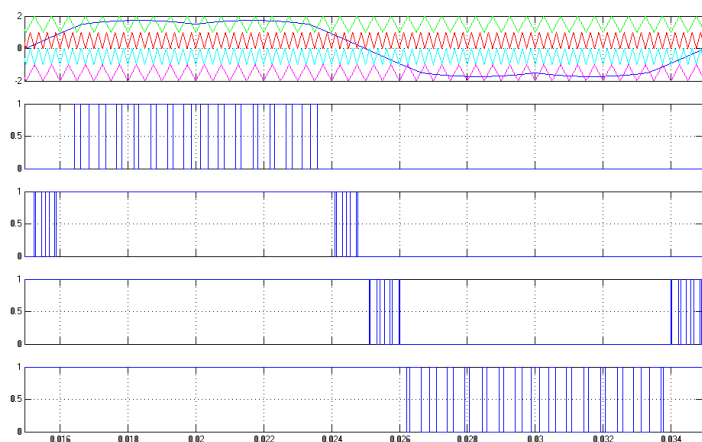


Figure 5 — Phase disposition sinusoidal with zero sequence pulse width modulation generation

Here, the reference wave is a sine wave with a zero sequence signal. The resulting flat topped waveform in this method allows overmodulation while maintaining excellent AC and DC spectra. This is an alternative method to improve the output voltage without entering the overmodulation range. So any carriers employed for this reference will enhance the output voltage by 15 % without increasing the harmonics:

In this technique, carrier waves with variable switching frequencies of 2 KHz and 4 KHz are compared with the reference wave of 50 Hz as shown in Fig. 5.

3.2. Phase opposition disposition Pulse width modulation
3.2.A. Sinusoidal Pulse Width Modulation

For phase opposition disposition (POD) modulation all carrier wave

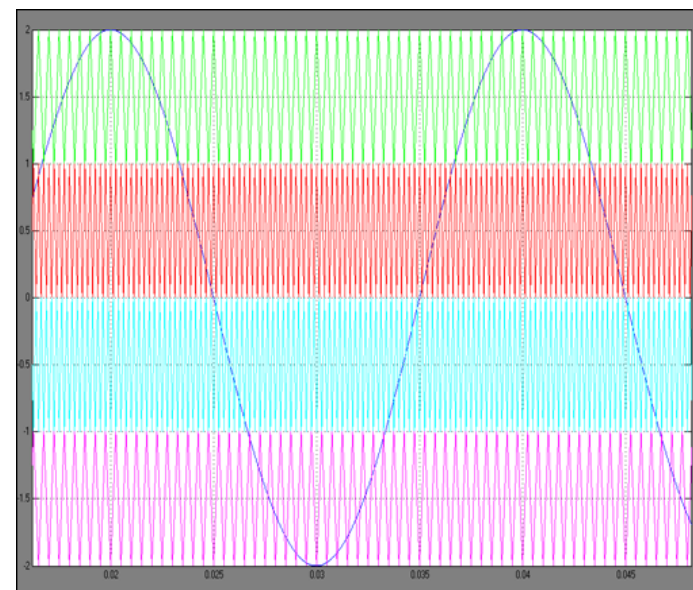


Figure 6 — Phase opposition disposition sinusoidal pulse width modulation forms above zero reference are in phase and are 180° out of phase with those below zero

Fig. 6 demonstrates the sine-triangle method for a five level inverter. Therein, the phase modulation signal is compared with four (N-1 in general) triangle waveforms.

The rules for the phase opposition disposition method, when the number of level $N = 5$ are

I. The $N - 1 = 4$ carrier waveforms are arranged so that all carrier waveforms above zero are in phase and are 180° out of phase with those below zero.

II. The converter is switched to $+ V_{dc}/2$ when the reference is greater than both carrier waveforms.

III. The converter is switched to zero when the reference is greater than the lower carrier waveform but less than the upper carrier waveform.

IV. The converter is switched to $- V_{dc}/2$ when the reference is less than both carrier waveforms.

In this technique, carrier waves with variable switching frequencies of 2 KHz and 4 KHz are compared with the reference wave of 50 Hz as shown in Fig. 7.

3.2.B. Sinusoidal with Zero Sequence Pulse Width Modulation

Fig. 8 shows the sinusoidal pulse width modulation with zero sequence in which a triplen harmonic voltage is added to each of the reference waveforms.

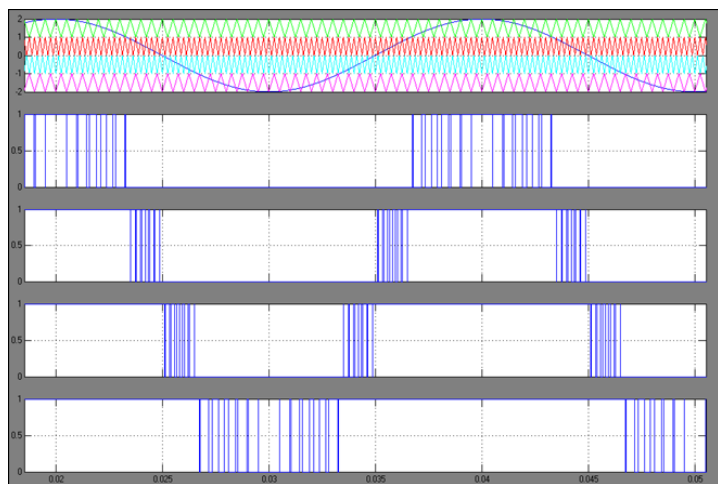


Figure 7 – Phase opposition disposition sinusoidal pulse width modulation generation

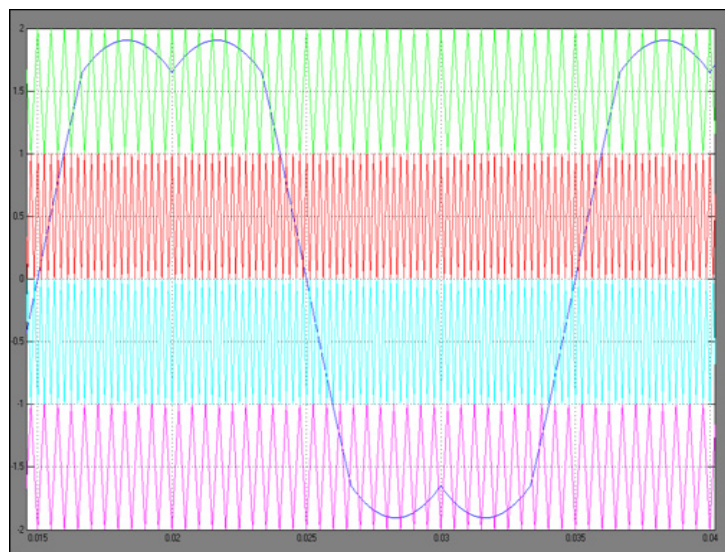


Figure 8 – Phase opposition disposition sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

In this technique, carrier waves with variable switching frequencies of 2 KHz and 4 KHz are compared with the reference wave of 50 Hz as shown in Fig. 9.

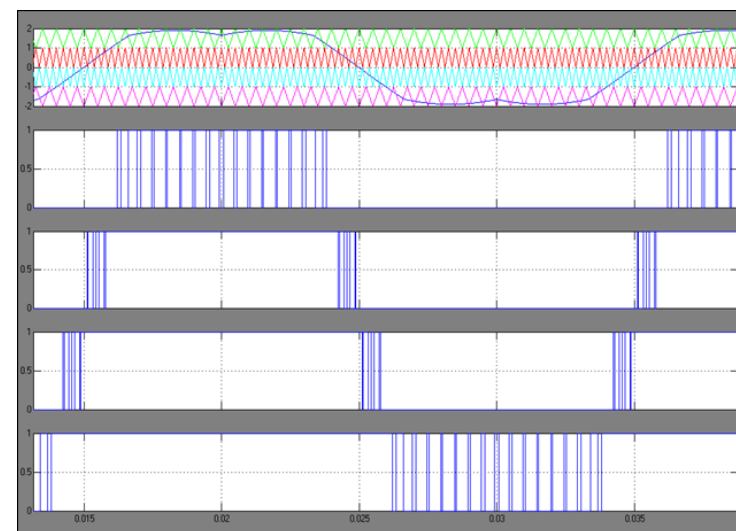


Figure 9 – Phase opposition disposition sinusoidal with zero sequence pulse width modulation generation

4. Results

THD and output voltage values for phase disposition and phase opposition disposition for variable switching frequency pulse width modulation are shown in Table 1.

The THD and output voltage values are less in the sinusoidal pulse width modulation technique, whereas the values are higher in the sinusoidal with zero sequence signal technique. It is determined that to minimize THD and to enhance the output voltage, that sinusoidal pulse width modulation is better than sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal.

Table 1 – THD and output voltage values for phase disposition and phase opposition disposition for variable switching frequency pulse width modulation

PWM methods	SPWM		SPWM with ZS	
	THD %	VAC	THD %	VAC
VCF-PD	10.10	180.1	22.45	200.0
VCF-POD	11.39	199.9	23.68	220.1

4.A. Simulation Results

The simulation parameters for variable switching frequency pulse width modulation are as follows:

Inverter rating = 500VA.

Three-phase load R = 100 Ohms & L = 20mH.

Voltage level of each source Vdc = 100V.

Switching frequency = 2 kHz and 4 kHz.

Figs. 10 and 11 show the simulated results of the phase disposition sinusoidal pulse width modulation of an output phase voltage and harmonic spectrum.

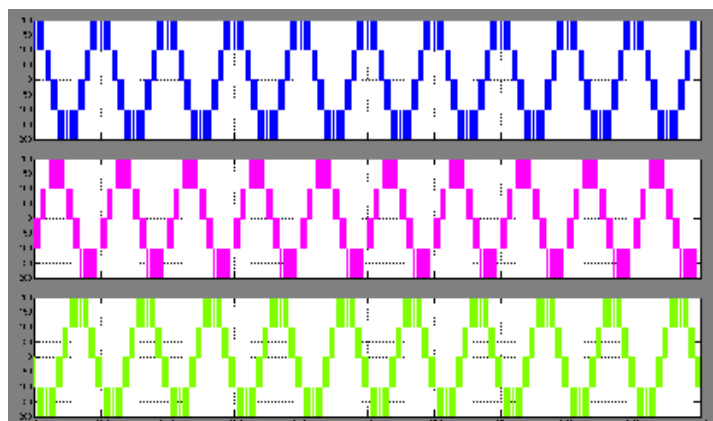


Figure 10 – Simulation output voltage for PD sinusoidal pulse width modulation

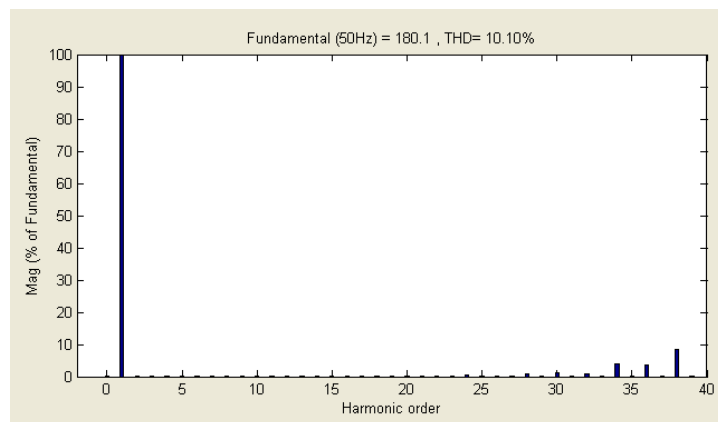


Figure 11 – Harmonic spectrum for PD sinusoidal pulse width modulation

Figs. 12 and 13 show the simulated results of the phase disposition sinusoidal with zero sequence pulse width modulation of an output phase voltage and harmonic spectrum.

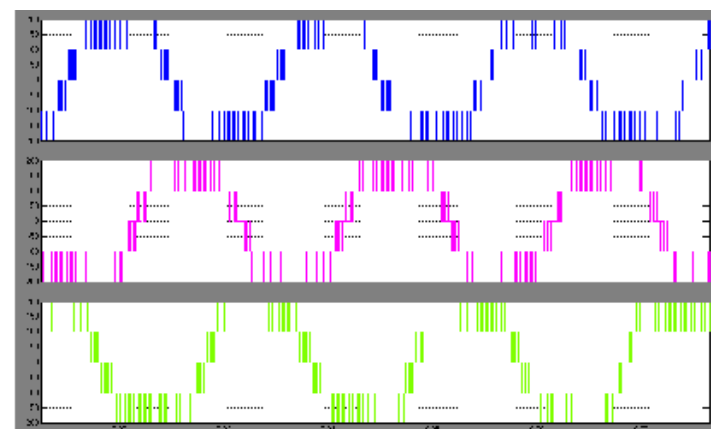


Figure 12 – Simulation output voltage for PD sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

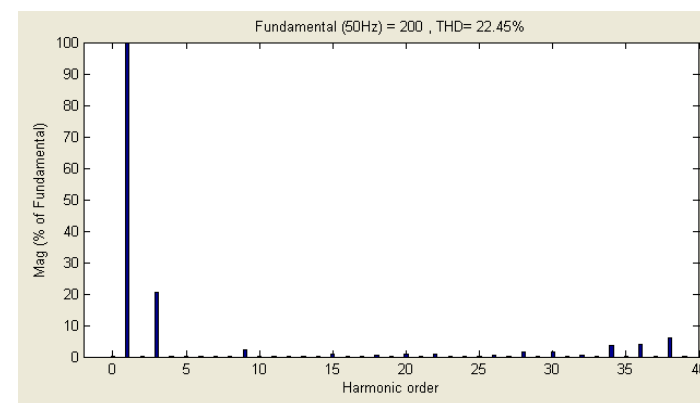


Figure 13 – Harmonic spectrum for PD sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

Figs. 14 and 15 show the simulated results of the phase opposition disposition sinusoidal pulse width modulation of an output phase voltage and harmonic spectrum.

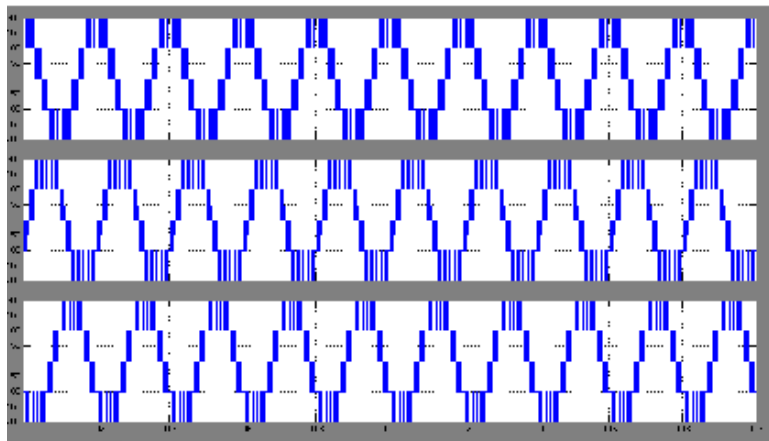


Figure 14 – Simulation output voltage for POD sinusoidal pulse width modulation

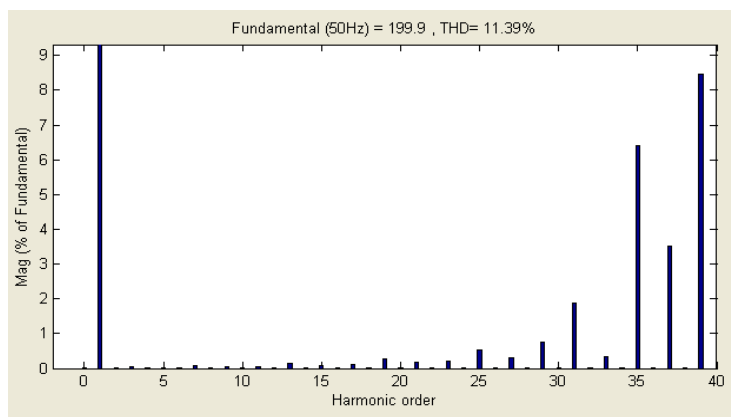


Figure 15 – Harmonic spectrum for POD sinusoidal pulse width modulation

Figs. 16 and 17 show the simulated results of the phase opposition disposition sinusoidal with zero sequence pulse width modulation of an output phase voltage and harmonic spectrum.

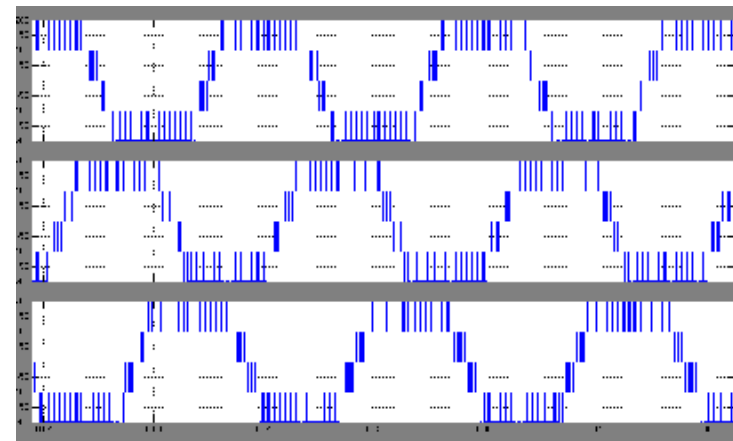


Figure 16 – Simulation output voltage for POD sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

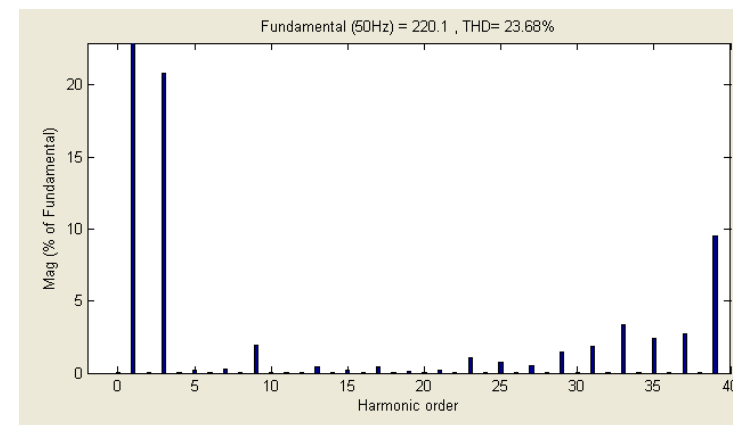


Figure 17 – Harmonic spectrum for POD sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

5.B. Hardware Results

A 500VA hardware setup of the three-phase five-level cascaded inverter has been built to validate the theoretical analysis. The hardware parameters for variable switching frequency pulse width modulation are as follows:

- Three-phase load, R = 100 Ohms, L = 20mH.
- Voltage level of each source Vdc = 100V.
- Fundamental frequency = 50Hz.

Switching frequency = 2 kHz & 4 kHz.

Xilinx Spartan – DSP controller (FPGA).

The three phase output voltage waveform for the variable switching frequency phase disposition sinusoidal pulse width modulation method is shown in Fig. 18, and the phase disposition sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal method is shown in Fig. 19.

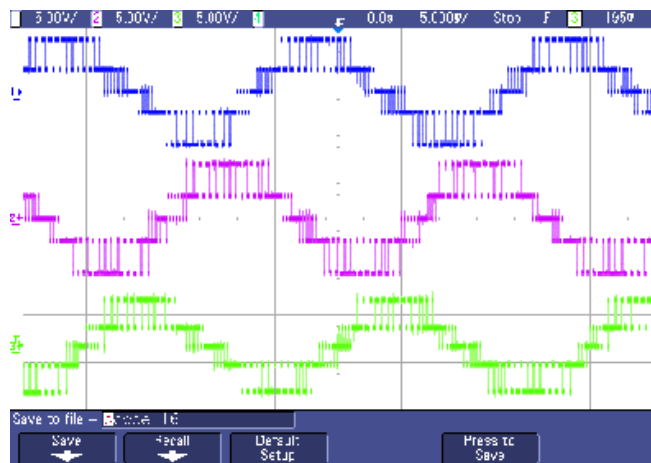


Figure 18 – Hardware output voltage for PD sinusoidal pulse width modulation

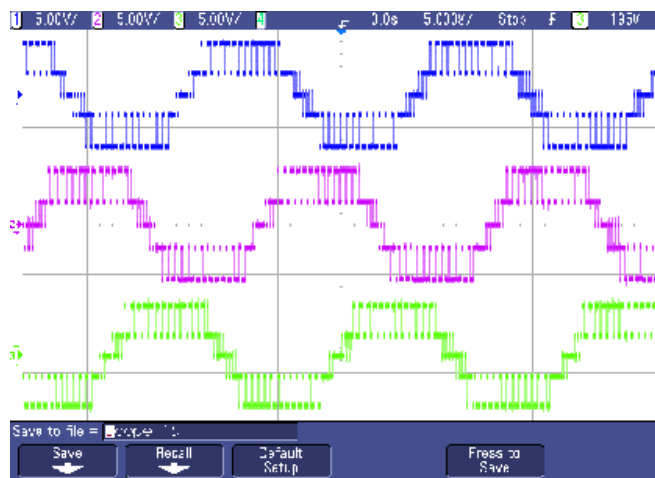


Figure 19 – Hardware output voltage for PD sinusoidal with zero sequence pulse width modulation

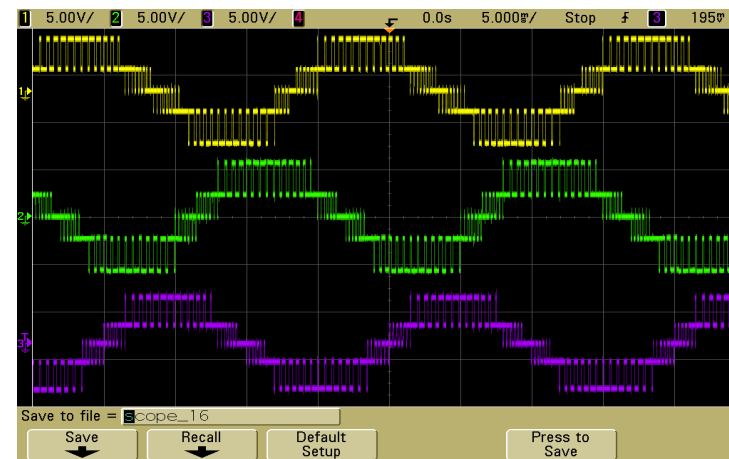


Figure 20 – Hardware output voltage for PD sinusoidal pulse width modulation

The output voltage waveform for the variable switching frequency phase opposition disposition sinusoidal pulse width modulation method is shown in Fig. 20, and the phase disposition sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal method is shown in Fig. 21.

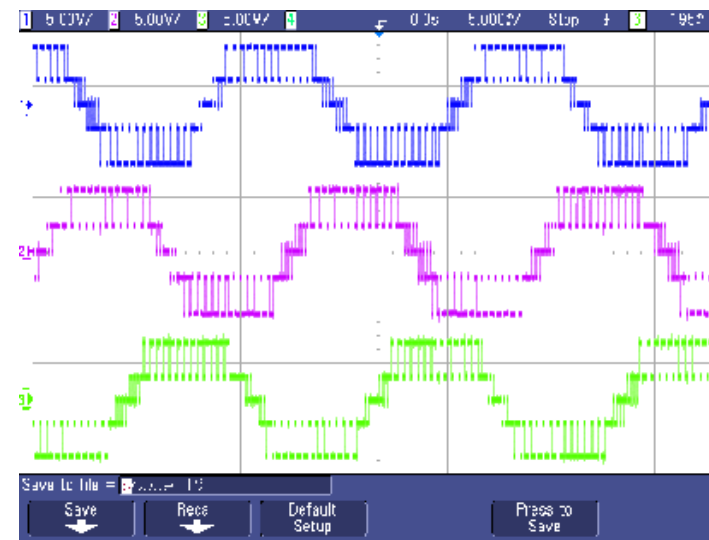


Figure 21 – Hardware output voltage for POD sinusoidal with pulse width modulation

6. Conclusion

In this paper, two new schemes adopting the phase disposition and phase opposition disposition variable switching frequency multicarrier pulse width modulation concepts are considered. The sinusoidal pulse width modulation and sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal techniques are analyzed with all three methods. It is observed that the sinusoidal pulse width modulation and sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal in phase shifted carrier pulse width modulation gives better results than the other two methods.

Here, the sinusoidal pulse width modulation strategy reduces the total harmonic distortion and the sinusoidal pulse width modulation with zero sequence signal strategy enhances the fundamental output voltage. The multilevel inverter improves the output voltage, and reduces total harmonic distortion and voltage stress on the semiconductors switches. The results are validated by simulation and experimental hardware setup.

REFERENCES

1 **Shapkenov, B. K., Kaliev, B. Z., Kaidar, A. B.** The Theory and Practice of energy converters. – Saarbrücken, Germany: Publishing house «LAP Lambert Academic Publishing», 2014.

2 **Kaidar, A. B., Kislov, A. P., Markovski, V. P., Govorun, V. F., Shapkenov, B. K., Volgin, M. E., Padrul', N. M., Zhumadirova, A. K.** Artificial intelligent application in condition monitoring and diagnosis of MLIDs. – Vestneyk PGU, 2014. – №4. – P. 43-48.

3 **Kopyrin, V. S., Kaidar, A. B., Ivanova, E. V., Novozhilov, A. N., Kislov, A. P., Markovski, V. P., Shapkenov, B. K., Akaev, A. M.** Diagnostics of the fault types and fault locations in a cascaded MLID from its output voltage waveform. – Vestneyk PGU, 2014. – №4. – P. 49 – 58.

4 **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 International scientific and technical conference «VI Sh. Shokin readings», October 10, 2014. P. 134-140.

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, Schweiz. 15-18 Juni 2015, P. 258-271.

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

7 **Бай, Ю. М., Расулов, Н. Н., Носов, А. Н., Кайдар, А. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К., Акаев, А. М.** Каскадные H-мостовые многоуровневые инверторные приводы. Вестник ПГУ, 2014. – № 4. С. 27-33.

8 **Кайдар, А. Б., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К., Говорун, В. Ф., Шапкенов, Б. К., Волгин, М. Е., Падруль, Н. М., Жумадирова, А. К.** Применение искусственного интеллекта при контроле состояния и диагностики MLID. Вестник ПГУ, 2014. – № 4. С. 43-49.

9 **Копырин, В. С., Кайдар, А. Б., Иванова, Е. В., Новожилов, А. Н., Кислов, А. П., Марковский, В. П., Шапкенов, Б. К., Акаев, А. М.** Диагностика типов неисправностей и места повреждений в каскадном MLID по его выходному напряжению. Вестник ПГУ, 2014. – № 4. С. 49-59.

10 **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, Schweiz, 15-18 Juni 2015. – P. 251-258.

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

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

Material received on 10.02.16.

А. Б. Қайдар, А. П. Кислов, Б. К. Шапкенов, В. П. Марковский, А. В. Антонцев

Ендік импульсты модуляция технологиясының негізінде өзгермелі жүк жиілікпен көп деңгейлі инверторлардың талдауы

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ. Материал 10.02.16 баспаға түсті.

А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, Б. К. Шапкенов, В. П. Марковский, А. В. Антонцев

Анализ многоуровневых инверторов с изменяемой несущей частотой на базе технологии ШИМ

Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар Материал поступил в редакцию 10.02.16.

Бұл мақалада гармониялық бұрмалауларды төмендету және бес деңгейлі инвертордан шығатын қуатын жоғарылатуға мүмкіндік беретін ендік – импульстық модуляциялардың әртүрлі әдістері қарастырылған.

В этой статье предлагаются различные методы широтно-импульсной модуляции, что позволяет минимизировать общие гармонические искажения и повысить выходное напряжение в пяти уровневом инверторе.

УДК 621.77.539.21

А. Т. Канаев¹, Ж. М. Ыксан², А. В. Богомолов³

¹д.т.н., профессор, Казахский агротехнологический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана; ²к.т.н., ассоц. профессор (доцент); ³к.т.н., ассоц. профессор (доцент), Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНО-СЛОИСТЫХ СТРУКТУР В КОЛЁСНОЙ СТАЛИ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКЕ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований структуры углеродистой стали после поверхностного плазменного упрочнения.

Ключевые слова: сталь, плазменная закалка, трещиностойкость, свойства металлов.

В последние годы интенсивно развивается плазменное упрочнение металлических материалов, являющееся одним из перспективных методов модификации их структуры высококонцентрированным потоком энергии и, как следствие, физико-механических свойств поверхностного слоя деталей и изделий.

Технология поверхностного плазменного упрочнения, в отличие от других процессов обработки высококонцентрированным потоком энергии (лазерной, электронно-лучевой, катодно-ионной и др.), характеризующихся высокой стоимостью и сложностью оборудования, недостаточной производительностью и высокими эксплуатационными расходами, лишена этих недостатков, успешно развивается и находит все большее применение в различных отраслях промышленности. Об этом свидетельствует практика работы заводов, которая показывает, что для продления эксплуатационного ресурса тяжело-нагруженных деталей и узлов машин рациональным по параметрам доступности, универсальности, экологичности и экономической эффективности является поверхностная

плазменная закалка. Не изменяя параметров шероховатости поверхности, такая упрочняющая термообработка легко встраивается в технологический процесс упрочнения деталей, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить их эксплуатационную стойкость. В этой связи понятен повышенный интерес к исследованию градиентно-слоистых структур, формирующихся при плазменной закалке, которые позволяют сталям и сплавам новые, ранее неизвестные, физико-механические и эксплуатационные свойства.

При воздействии плазмы на поверхность материала происходит ряд физико-химических процессов, приводящих к созданию в приповерхностном слое сложного напряженного состояния под действием градиента температур. В совокупности эти процессы способствуют к формированию в поверхностном слое обрабатываемого материала многослойной структуры. Это вызывает необходимость исследования закономерностей формирования и развития такой структуры и соответствующих физико-механических и служебных свойств обрабатываемой стали [1].

В ходе научных исследований поверхностному плазменному упрочнению подвергались цельнокатаные колёса, изготовленные из углеродистых сталей марки 2, химический состав которых приведён в таблице 1 (ГОСТ 10791-2004).

Таблица 1 – Химический состав колесных сталей (%)

№	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu
1	0,570	0,780	0,350	0,027	0,030	0,17	0,12
2	0,630	0,820	0,420	0,025	0,036	0,19	0,15

Механические свойства стали ободьев колес, подвергнутых упрочняющей термической обработке (σ , δ , Ψ по ГОСТ 1497 на образце диаметром 15 мм с расчётной длиной 60 мм, ударная вязкость – КСЧ на образцах типа 1 по ГОСТ 9454, твердость – НВ по ГОСТ 9012 шариком диаметром 10 мм при нагрузке 29430 Н) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства колесной стали

№	σ , Н/мм ²	δ , %	Ψ , %	КСЧ, Дж/см ²	НВ на глубине 20 мм	НВ гребня
1	1017	15,0	32	0,34	258	267
2	1100	12,5	21	0,37	285	296

Режим плазменного упрочнения:

Сила тока, А	275
Напряжение электрической дуги, В	120
Номинальное значение мощности дуги, кВт	35
Расход защитного газа, л /мин	5
Частота вращения колесной пары, об/мин (7,0-7,2 мин за полный оборот колеса)	0,143

Упрочнению подвергалась зона перехода от рабочей поверхности гребня колеса к поверхности катания. Зона упрочнения начинается на расстоянии 2-3 мм от вершины гребня и имеет ширину 25-26 мм.

Микроскопические исследования проводили на оптическом микроскопе «Неорфот» при увеличении $\times 200$ на микрошлифах, вырезанных в поперечном направлении из сегмента с условием сохранения упрочненного слоя. Электронно-микроскопические исследования выполнены на просвечивающем электронном микроскопе Jeol JEM 2100.

Изучали микроструктуру, глубину, распределение микротвердости по сечению гребня, качество упрочнённых поверхностей.

Измерение микротвердости упрочнённого слоя проводили на микрошлифе до травления на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 1,962Н (200гс) в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-2006 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников».

Двухфазное строение сорбита и троостита выявляется только под электронным микроскопом, так как межпластиночное расстояние этих структур находится на пределе разрешающей способности оптического микроскопа ($\sim 0,2$ мкм). Поэтому на рисунке 1-в и 1-г приведены фотоснимки соответственно сорбита и троостита при увеличении $\times 5000$, снятые электронным микроскопом. Четко видно, что обе эти структурные составляющие состоят из чередующихся пластинок феррита и цементита.

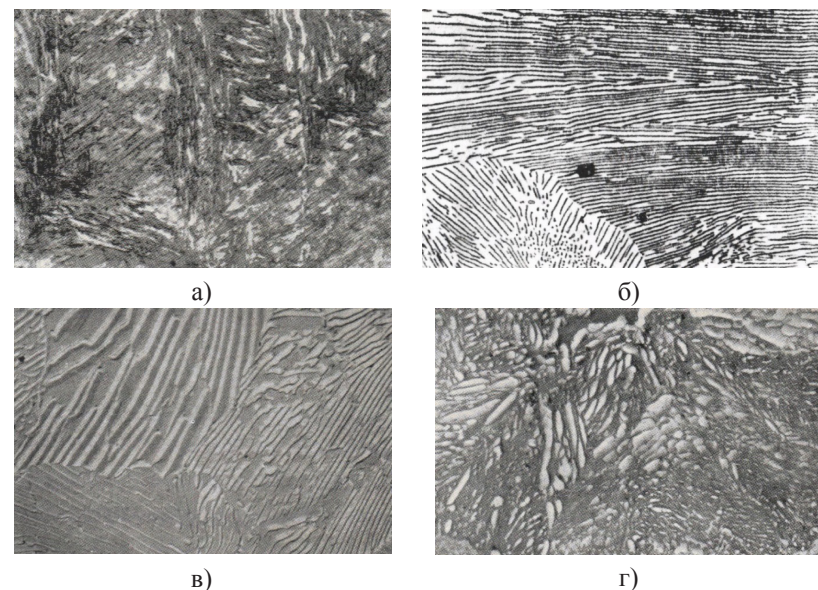


Рисунок 1 – Структура продуктов распада аустенита при непрерывном охлаждении (а – мартенсит, $\times 1000$); (б – перлит, $\times 1000$); (в – сорбит, $\times 5000$); (г – троостит, $\times 5000$);

Следует подчеркнуть, что при непрерывном охлаждении не удастся разграничить процессы образования чистого троостита, сорбита или перлита, так как скорость изменения температуры по сечению охлаждаемого изделия не остается постоянной, она переменна и меняется по определенному закону, зависящему от теплофизических свойств стали. В действительности процессы превращения могут накладываться один на другой по температуре и времени своего развития, что ведет к формированию, как правило, смешанных структур в виде мартенсит + троостит, троостит + сорбит или сорбит + перлит (рисунок 1).

На рисунке 1 приведена смешанно-градиентная структура в цельнокатаной колесной стали, сформировавшаяся при поверхностном плазменном упрочнении по указанному выше режиму.

Мартенсит →

Мартенсит+ троостит →

Троостит + сорбит →

Перлит + феррит →

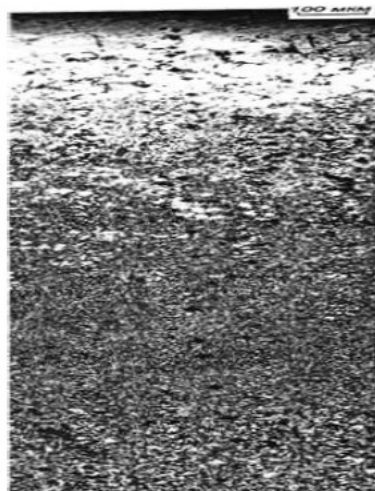


Рисунок 2 – Градиентно-слоистая структура гребня бандажа в упрочненной зоне

В таблице 1 представлено изменение микротвёрдости в зависимости расстояния (мкм) от поверхности, т.е. зоны плазменно-термического воздействия.

Таблица 1 – Изменение структуры микротвёрдости по глубине упрочнённого слоя

Расстояние от поверхности, мкм	Микротвёрдость, HV_{02}	Микроструктура	Расстояние от поверхности, мкм	Микротвёрдость, HV_{02}	Микроструктура
50	872	Пластинчатый мартенсит	1100	425	Троостит+ сорбит
100	850		1200	460	
150	800		1400	403	
200	803		1500	380	Сорбит + перлит
300	764		1600	323	
400	585	Пластинчатый мартенсит + троостит	1800	301	Перлит + феррит
500	580		1900	290	
600	550		2200	272	
700	546		2400	260	
800	536		2700	263	
950	500	2900	261		

Как видно из таблицы 1, изменение микротвёрдости происходит в диапазоне от 872 HV_0 до 261 HV_{02} .

На глубине 0,05-0,30 мм наблюдается мартенситная структура с микротвёрдостью 871-764 HV_{02} , на глубине 0,40-1,00 мм троосто-мартенситная структура с микротвёрдостью 585-500 HV_{02} , затем трооститная структура на глубине 1,00-1,40 мм с микротвёрдостью 500- 403 HV_{02} плавно переходит в сорбитную глубиной 1,40-2,20 мм с микротвёрдостью 397-272 HV_{02} , далее следует структура основного металла с типичной феррито-перлитной структурой, имеющей микротвёрдость 260-263 HV_{02} .

Видно, что по глубине упрочнения отчетливо наблюдается образование нескольких структурных зон различной микротвёрдости. На поверхности находится зона, химический состав которой соответствует составу стали с содержанием углерода 0,57-0,63 %. При резком охлаждении происходит ее превращение в игольчатый мартенсит с дисперсностью 5-15 мкм. За ней следует зона глубиной ~ 0,6 мм превращения аустенита в троосто-мартенсит. В микроструктуре этих слоев наблюдается присутствие небольшого количества остаточного аустенита, количество которого колеблется и зависит от глубины закаленного слоя.

Далее следует слой (~ 0,4 мм) преимущественного троостита, где микротвёрдость снижается и зависит от объемного содержания присутствующих фаз, затем в структуре появляется сорбит с ориентировочной глубиной 0,8 мм. Область расположения появляющегося сорбита определяется центральными участками бывших аустенитных зерен, характеризуется меньшей дисперсностью ферритных и цементитных составляющих в них по сравнению с трооститом и обладающих меньшей микротвёрдостью. Микротвёрдость в этой области также зависит от объемного количества присутствующих фаз. По мере углубления внутрь образца на стыке границ бывших аустенитных зерен появляется феррит и его количество постепенно возрастает. Структура остается феррито-сорбитной и затем плавно переходит в феррито-перлитную. Суммарная микротвёрдость снижается до исходной. Исходная структура представляет собой смесь ферритных и перлитных зёрен с объемной долей каждой фазы соответственно 20-80 %.

Необходимо отметить, что в основе как перлитного, так и мартенситного превращений лежит полиморфный переход гранцентрированной кристаллической решетки аустенита в объёмно-центрированную решётку равновесного или пересыщенного феррита ($\gamma \rightarrow \alpha$).

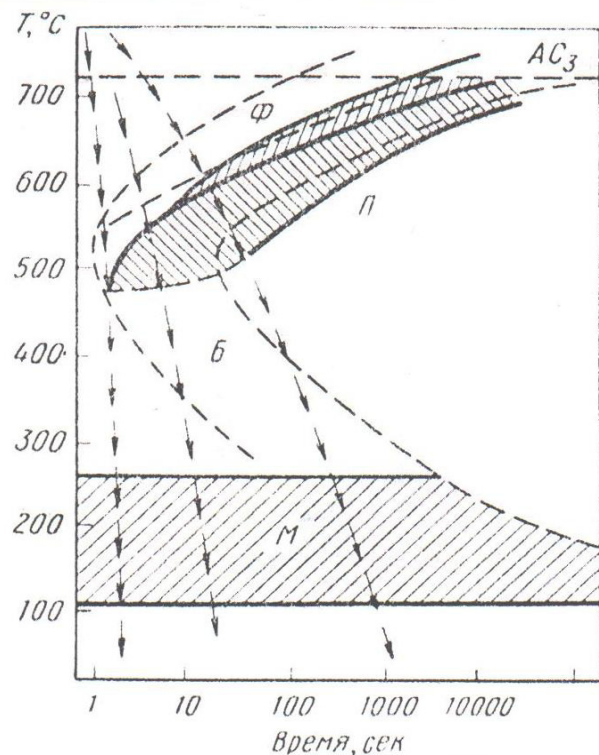


Рисунок 3 – Схема диаграммы распада переохлажденного аустенита доэвтектоидных (0,60 – 0,65 % С) конструкционных сталей [5]

Штриховые линии соответствуют изотермическому превращению аустенита, сплошные линии превращению при непрерывном охлаждении (термокинетическая диаграмма). Сопоставление кинетики превращения аустенита в изотермических условиях и в процессе непрерывного охлаждения показывает, что соответствующие линии на термокинетических диаграммах расположены правее и ниже аналогичных линии изотермической диаграммы. Это свидетельствует о том, что устойчивость переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении несколько больше и превращение протекает при более низких температурах, чем в случае изотермического распада переохлажденного аустенита [6]. На практике это отражается на величине межпластиночного расстояния, являющегося важнейшей структурной характеристикой конструкционных сталей. Межпластиночное расстояние представляет собой усредненную сумму толщин двух соседних пластин феррита и цементита перлитных структур. Чем больше скорость охлаждения,

тем меньше межпластиночное расстояние и тем дисперснее получающаяся феррито-карбидная смесь, тем выше микротвёрдость (твёрдость) стали.

При анализе структурных превращений необходимо иметь в виду, что разделение феррито-цементитных структур на перлит, сорбит или троостит носит условный характер и между этими структурами, как правило, нет четкой границы. Это объясняется тем, что на практике не удается разграничить процессы образования чистого троостита, сорбита или перлита, так как скорость изменения температуры по сечению охлаждаемого изделия в процессе непрерывного охлаждения не остается постоянной, как выше отмечалось, она переменна и меняется по определенному закону, зависящему от теплофизических свойств стали [6].

Кроме того, в отличие от перлита, сорбит и троостит не являются равновесными структурами, так как в реальных производственных условиях охлаждение, как правило, бывает неравновесным, и это приводит к определенному пресыщению сорбитного и трооститного феррита углеродом, что сказывается, естественно, на механических свойствах. В частности, механические свойства стали со структурами перлит, сорбит или троостит прямо пропорционально площади поверхности раздела между ферритом и цементитом. Поэтому с понижением температуры распада аустенита и соответствующим измельчением структуры (усиления степени дисперсности) ферритные пластинки несколько пересыщаются углеродом, прочностные характеристики (прочность – σ_s твёрдость – НВ) возрастают, а пластические характеристики (относительное удлинение – δ и сужение – ψ) уменьшаются [7].

Микроструктуры, приведённые на рисунке 1, иллюстрируют наложение мартенситного превращения на перлитное. Так, при скорости охлаждения V_2 в температурном интервале ~ 550 °С – 460 °С часть аустенита диффузионным механизмом превращается в троостит, оставшаяся часть ниже точки Мн (~260 °С) бездиффузионно переходит в мартенсит. Эти и другие подобные примеры показывают, что экспериментальное исследование процессов структурообразования при охлаждении с переменной скоростью представляет сложную задачу, поскольку в зависимости от ряда факторов и, в первую очередь, от скорости охлаждения кинетика и температурные условия развития того или иного превращения могут меняться в определенных пределах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Соснин, Н. А., Ермаков, С. А., Тополянский, П. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2013.

2 **Коваленко, В. В., Козлова, Э. В.** Физическая природа формирования и эволюция градиентных структурно-фазовых состояний в сталях и сплавах. – Новокузнецк, 2009. – 557 с.

3 **Быков, Е. Г., Ефимов, О. Ю., Иванов, Ю. Ф. и др.** Эволюция структурно-фазовых состояний при эксплуатации прокатных валков. Известия вузов, серия Черная металлургия. – 2010. – № 12. – С. 35-37.

4 **Канаев, А. Т., Богомолов, А. В.** Структурообразование в плазменно-упрочнённых металлических материалах. – Астана : ТОО «Политон», 2015.

5 **Попова, Л. Е., Попов, А. А.** Диаграммы превращения аустенита в сталях. Справочник. – М. : Металлургия, 1991.

6 Металлография железа. Том 1. «Основы металлографии», перев. с англ. – М. : Изд-во «Металлургия», 1972. – 240 с.

7 **Новиков, И. И.** Теория термической обработки металлов. – М. : Металлургия, 1986.

Материал поступил в редакцию 29.02.16.

A. T. Kanayev¹, Zh. M. Yksan², A. V. Bogomolov²

Доңғалақты болаттағы плазмалы шынықтыру кезіндегі градиентті-қабаттылықты құрылымын қалыптастыру

¹С. Сейфуллин атындағы

Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 29.02.16 баспаға түсті.

A. T. Kanayev¹, Zh. M. Yksan², A. V. Bogomolov²

Formation of gradient-layered structures in steel wheel in plasma quenching

¹S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana;

²S. Toraihyrov, Pavlodar State University, Pavlodar.

Material Received on 10.02.16.

Мақалада көміртекті болат құрылымының плазмалы бекіндіру беттерінен кейінгі сараптамалық зерттеулерінің нәтижелері ұсынылған.

The article presents the results of experimental studies of the structure of carbon steel after surface plasma hardening.

ЭОЖ 621.314.222.6(075.8)

П. Т. Рахимжанова

ХҚТУ доценті, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.

e-mail: prakhimzhanova@mail.ru

РАДИОБАЙЛАНЫС САЛАСЫНДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН КҮШТІК ТРАНСФОРМАТОР ЖҰМЫСЫН ЕСЕПТІК САРАПТАУ

Өндіріс орнында қолданылатын трансформатор жұмысын есептік сараптау бір қатар қиындықпен орындалады, ал радиоәуесқойлар үшін оңтайландырылған әдіс ұсынылады. Бұл жұмыста, күштік трансформаторды тұрмыстық және шеберханада жинауға арналған қарапайым әдіснама қарастырылған.

Кілтті сөздер: трансформатор конструкциясы, технологиясы, оқшаулағыш материалдар, орамдары.

КІРІСПЕ

Ғылыми-техникалық прогрестің тездеп дамуы, бұл әрбір электрлік жүйе мен тораптарды жаңа жетілдірілген кейінгі талапқа сай келетін электр қондырғыларымен, аппараттармен қамтамасыздандыру болып табылады. Уақыттың қойған талабын қанағаттандыру жолында, трансформатор өндіруші зауыттардың алдына қойған ең бір негізгі мәселесі бұл жаңа маркалы материалдардың түрлерін өңдеу болып табылады. Мұндай жаңа материалдарға қол жеткізу трансформатордың есептік сипаттамаларын жақсарту мен ондағы энергияның жоғалуын төмендетеді. Мұндай өнімді шығару жолында бағасы жағынан қымбат әрі сирек кездесетін материалдарды өзі арзан және жиі кездесетін материалдармен алмастыру бұл сол өнімнің құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Мысалы соңғы жылдары бірқатар елдерде төмен және орта қуатты трансформатор орамдарын мыс өткізгіштерінің орнына алюминий өткізгішпен алмастыруға тура келді [1].

Себебі алюминий материалдар құндылығы жағынан мысқа қарағанда көп арзан әрі өндіру технологиясы да жеңіл, осыдан шыққан өнімнің бағасыда салыстырмалы түрде болады. Өнім сапасы жағынан жоғары ал бағасы жағынан төмен болса мұндай өнімге тұтынушылар тарапынан сұраныста көп болады

Егер осындай талапқа сай келетін трансформатор табылса жақсы, болмаса өз күшіменен [1] әдебиеттегі материалды қолдана отырып трансформатор жинауға тура келеді. Осы қарастырылып отырған ғылыми-

теориялық зерттеу жұмыста әрбір қызығушы жас маманның өзбетінше трансформатор кондырғысын жинау әдістемесі ұсынылып отыр.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Сонымен трансформатордағы активті материалдарының бірі бұл мыс орамалары болып табылады. Мыс өзінің физика-химиялық қасиеттері мен құндылығы жағынан ерекшеленеді. Жылдар өте келе ғылым мен техниканың дамуының нәтижесінде трансформатор конструкциясына елеулі өзгерістер ендірілді. Трансформатордың негізгі бөліктерінің бірі бұл орамдар, осы орамдарға қолданылатын материалдарды өзгертсек мәселен мыс орамдардың орнына алюминий материалы қолданылса, онда оның сипаттамасы да өзгереді. Алюминий өзіндік құны, күй-жағдайы, табиғатымен ерекшеленеді, яғни басқа металдармен салыстырғанда едәуір өзгешелігі бар кесте № 1 көрсетілген. Мыспен алюминидің негізгі физикалық қасиеттері бойынша бір орамаға арналған 1кг алюминий сымның құны мыспен салыстырғанда 12-15%-ке арзан екендігін төмендегі 1-кестеден көруге болады [2].

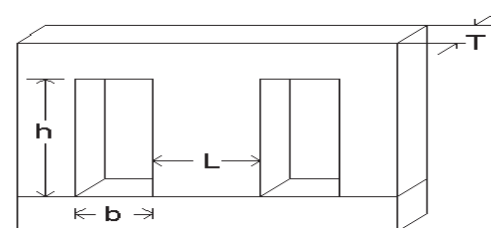
Кесте 1 – Мыс пен алюминий өткізгіштерінің негізгі физикалық қасиеттері

Металл	Меншіктік электрлік кедергі ρ, Ом.м		Тығыздығы кг/мм ²	Бідрәуаға біріктігі кг/мм ²	Меншікті жылу сыйымдылығы
	20°C	75°C			
Электролиттік мыс	0,01724	0,02135	8,9	23,9	390
Алюминий	0,0280	0,0344	2,7	8,0-9,0	816

Технологиясы мен конструкциясы бойынша орамдары алюминий трансформатордың, мыс орамды трансформатормен салыстырғанда бір қатар өзгешілігі болады [2].

Қуаты 35 Кв-қа дейінгі ЖК трансформатор үшін қағаз оқшаулама қалыңдығы 0,5 мм, эмалмен алмастыру бұл металл орам санағын 0,5 %-ке, сталь және өткізгіш изоляция қалыңдығының әрбір 0,1 мм үшін сталь өзекшенін салмағы 0,75 %-ке үнемделеді. Өткізгіштің қима ауданын сақтай отырып оның оқшаулама қалыңдығын 0,5-0,1 мм-ге өзгерту бұл өзекше металын 3%-ке, орам металын 2 % – үнемдеуге мүмкіндік береді. Кернеуі 110 кв трансформатор сымдарының қағаз оқшауламаны қалыңдығы шамамен 1,4 мм эмал оқшауламаға алмастыру нәтижесінде орамдағы сымдардың салмағын 3,5-4 %, және өзекшенің салмағын 4,5-5 % үнемдеуге болады. Трансформатордың жалпы қуаты барлық екіншілік орам қуаттарының

қосындысына тең болады. Осы трансформатордың номиналь қуатын негізге ала отырып квадрат сантиметрмен есептелген өзекшенің минимал қима ауданы анықталады. Өзекше таңдау барысында өзекше ортасындағы пластина ені мен оның қалыңдығы негізге алынады. Өзекше қимасының ауданы пластина ені мен оның қалыңдығына көбейтіндісі сурет-1 көрсетілген.



Сурет 1 – Трансформатор өзекше қимасының бейнесі

Өзекше ауданы $S_{\text{өзек}} = L \cdot T$ (барлық шамалар сантиметрмен алынады!). Өзекше (сурет-1) терезе ауданы $S_{\text{тер}} = h \cdot b$ анықталады. Сонымен қатар өзіміз таңдап алған өзекше терезесінің ауданын анықтап алған жөн [2].

Күштік трансформатордың келтірілген есебі:

$$P = U_2 \cdot I_2 \quad S_{\text{өзек}} (\text{см}) = \sqrt{P(B \cdot A)} \quad N = 50/S \quad (1)$$

$$I_1 (A) = P/220 \quad W_1 = 220 \cdot N \quad W_2 = U \cdot N \quad (2)$$

$$D_1 = 0.02 \sqrt{I_1} (mA) \quad D_2 = 0.02 \sqrt{I_2} (mA) \quad (3)$$

$$K = S_{\text{терезе}} / (W_1 \cdot S_1 + W_2 \cdot S_2) \quad (4)$$

Сонан соң N коэффициентін анықтауға кірісеміз. Бұл коэффициент орамда 1 вольт кернеу алу үшін қанша орауыш қажет екендігін көрсетеді. Келесі қадамда орамдағы кернеуді (N) коэффициентіне көбейту керек. Бұл іс-әрекеттер барлық орамдар үшін бірдей болады. Трансформатордың қуатына қарай орамдарға қажетті жұмыс тоғы мен кернеу есептеледі [3]. Орамдардағы өткізгіштердің диаметрі келтірілген формула бойынша анықталады (ток шамасы миллиампермен алынады). Кей жағдайларда қажетті өлшемдегі өткізгіштер қол астында болмаса (бірақ қимасы төмен өткізгіштер болады) онда төменде кесте № 1 қолдана отырып мәселені шешуге болады. Кесте № 1 қажетті стандартқа сай өткізгіштердің көлденең қима ауданы келтірілген.

Кесте 1 – Стандартқа сай өткізгіштердің көлденең қима ауданы

D	2D	3D	D	2D	3D	D	2D	3D
0,10	0,07	-	0,59	0,41	00,33	10,45	1,04	0,83
0,12	0,08	-	0,62	0,44	00,31	10,50	1,08	0,86
0,14	0,10	-	0,64	0,44	00,38	10,56	1,08	0,90
0,15	0,11	-	0,67	0,47	00,38	10,62	1,16	0,93
0,17	0,12	-	0,69	0,49	00,41	10,68	1,20	0,96
0,18	0,13	-	0,72	0,51	00,41	10,74	1,25	1,00
0,20	0,14	-	0,74	0,53	00,44	10,81	1,30	1,04
0,21	0,15	-	0,77	0,55	00,44	10,88	1,35	1,08
0,23	0,17	-	0,80	0,57	00,47	10,91	1,40	1,12
0,28	0,18	-	0,83	0,59	00,47	20,02	1,45	1,16
0,27	0,19	-	0,81	0,62	00,49	20,10	1,50	1,20
0,29	0,20	00,17	0,90	0,64	00,51	20,21	1,62	1,30
0,31	0,21	00,18	0,93	0,64	00,53	20,44	1,74	1,40
0,33	0,23	00,19	0,91	0,67	00,55	20,13	1,88	1,50
0,31	0,21	00,20	1,00	0,72	00,57	20,63	2,02	1,62
0,38	0,27	00,21	1,04	0,74	00,59	30,05	2,10	-
0,41	0,29	00,23	1,08	0,77	00,62	30,28	2,26	1,88
0,44	0,31	00,25	1,12	0,80	00,64	30,53	2,44	2,02
0,47	0,33	00,28	1,11	0,83	00,67	30,80	2,64	-
0,49	0,31	00,29	1,20	0,86	00,69	40,10	2,83	-
0,51	0,31	00,29	1,21	0,90	00,72	40,10	3,05	2,53
0,53	0,38	00,31	1,30	0,93	00,74	40,80	3,28	-
0,51	0,38	00,31	1,31	0,96	00,77	50,20	3,35	-
0,57	0,41	00,35	1,40	0,00	00,80	-	-	-

Кестені қалай қолданамыз? Мәселен, есептеу кезінде өткізгіштің көлденең қимасы мен диаметрі 0,51 миллиметрден ауытқыды делік. Осы

көрсеткішке эквивалентті болу үшін диаметрі 0,31 миллиметр екі өткізгіш немесе диаметрі 0,29 миллиметрден үш өткізгіш алуға тура келеді. Осыған байланысты орам таңдаған бір өткізгіштен еме, қимасы төмен бірнеше бір-біріне қосылған өткізгіштен құралады [4]. Есептеу соңында орам терезесінің толтыру коэффициентін тексереміз. Егер толтыру коэффициенті 0,5 тен аспаса онда орынды, ауытқу жағдайында өзекшенің қима ауданы үшін басқа өлшемдер жүргізу қажет. Егер, қол астында номинал қуаты қажеттіліктен төмен дайын күштік трансформатор болса онда тек екіншілік орамды есептеп толықтырумен шектелген дұрыс шешім болады.

Мәселен: бізге автомобиль аккумуляторын зарядтау үшін номинал тоғы 5 амперге тең күштік трансформатор қажет делік. Сонымен мұндай трансформатордың қуаты 90 ваттан кем болмау керек (18 вольтты 5 амперге көбейткенге тең). Бұл жағдай үшін кәдімгі ТС180 типті лампалы ақ-қара телевизор жеткілікті. Осы типті трансформаторды қолдану үшін тек екіншілік орамды қайта орау жеткілікті. Мұндай трансформатор өзекшесі «О» тәрізді екі катушкалы етіп жиналады. Ал барлық орамдары екі катушкаға оралып екі жартығы бөлінген. Қайта жарақтау үшін әуелі өзекшені өте мұқият мұшелеп бөлеміз, орамдарды тарату кезінде орам санын [7] анықтаймыз. Анықталған орамының орамшалар санын анықтаймыз. Келесі қадамда 18 санына көбейте отырып екіншілік орамның орамша саны анықталады. Формула бойынша екінші орам өткізгіштің диатерін формула (4) анықтаймыз. Өзекшенің ішкі диаметрін анықтауда келесі шарт сақталу қажет $d < d'_{\epsilon}$.

$$d'_{\epsilon} = \sqrt{2.4 \times S} = \sqrt{2.4 \times 6} = 3.8 \text{ см}$$

яғни $5 > 3.8$ (6) шамасы жоғары ток үшін
1) шамасы аз ток үшін яғни диаметрі 0,02 ден 0,2 мм аралығындағы

$$\text{өткізгіштер үшін } d = I k + 0.005, \text{ жоғары токтар түшін } d = \sqrt{\frac{I^2}{m^2}}.$$

Шамасы 5 ампер ток үшін өткізгіш диаметрі 1,42 миллиметрден кем болмау керек. Жұмыс барысында осындай өлшемдегі өткізгіш табылса онда екіншілік орам екі бөлікке бөлінеді және әрқайсысы жеке қарқасқа оралады да бір-біріне тізбектей жалғанады. Диаметрі 1,0 миллиметрден төмен өткізгіштер қолдануға болады бұл жағдайда әрбір қарқасқа толық орауыштар (витков) оралады да орамдарды бір-біріне параллель жағайды [5].

Тізбектегі торойдалды трансформатордың жұмысын есептік сараптау

Есеп үшін қажетті бастапқы берілгендері: Барлық екіншілік орам үшін трансформатордың минималь габариттік қуатын аламыз. Мәселен екіншілік орамы екі орамды трансформатор қажет делік, оның біріншісінің ток күші 1 ампер болғандағы кернеуі 14 вольт ал екіншісінікінің ток күші 0,05 ампер кернеуі 30 вольт тең болады. Сонымен екіншілік орамдағы қуаттың қосындысы $(14 \times 1) + (30 \times 0,05) = 15,5$ ватт тең болады. Күштік трансформатордың негізгі сапалы көрсеткіші болып оның сенімділігі саналады. Сенімділік дегеніміз трансформатордың жұмыс барысында

минимал қызуы және жүктеме кезіндегі кернеудің минимал отыруы. Есеп барысында трансформатордың ПӘК 0,95 деп аламыз. Электр торабындағы трансформатор сенімділігін және кернеудің 220 Вольттан ауытқуын 10 % екедігін ескере отырып, индукциясын $V=1,2Tл$ деп аламыз.

Мұндай жағдайдағы ток тығыздығы $3,5 A/mm^2$, ал өзекшені стал материалмен толтыру коэффициенті 0,95, ал терезе толтыру коэффициенті 0,45 тең болады.

Осы таңдалған есеп бойынша трансформатордың габариттік қуатын анықтайтын формула сарапталып келесідей таңдалады [3, 4]:

$$P = 1.9 \cdot S_c \cdot S_o$$

$$S_c = \frac{(D-d)h}{2} \quad S_o = \frac{\pi d^2}{4} \quad (5)$$

Трансформатордың біріншілік орамның орауыш саны $n_1=40 \cdot 220 / S_c$ тең деп есептеледі. Формуладағы: S_c – өзекшенің (см²) қима ауданы; біріншілік орамның кернеуі 220 В. Екіншілік орамның орауыш саны жоғарыдағы формуламенен есептеледі де бірақ жүктеме кезіндегі кернеудің құлауын ескере отырып есептелген мөлшерге 5 % қосылады. Барлық орамдарға қажетті алюминий мен мыс өкізгіштердің диаметрін мына формула бойынша анықтаймыз [6].

CU: $d[мм]=0,02 \times \sqrt{I[mA]}$ немесе $d[мм]=0,632 \times \sqrt{I[A]}$ мыс үшін

Al: $d[мм]=0,025 \times \sqrt{I[mA]}$ немесе $d[мм]=0,8 \times \sqrt{I[A]}$ алюминий үшін
 Өзекшесі тороидальды күштік трансформаторға толық есеп жасау бұл өте көлемді әрі күрделі мәселе бірақ [3] кесте 2 қолдана отырып қуаты 120 Вт-қа дейінгі трансформатордың параметрлерін қарапайым әдіспен шешуге әбден болады.

Кесте 2 – Торойдалды трансформатор параметрлерін есептеуге арналған

P_r, B_r	W_1	W_2	S, cm^2	$J, A/mm^2$	$\eta, \%$
До 10	41/S	38/S	$(P_r)^{(1/2)}$	4,5	0,8
10-30	36/S	32/S	$(P_r)^{(1/2)}/1,1$	4	0,9
30-50	33,3/S	29/S	$(P_r)^{(1/2)}/1,2$	3,5	0,92
50-120	32/S	28/S	$(P_r)^{(1/2)}/1,25$	3	0,95

Ескерту: P_r – трансформатордың габариттік қуаты, W_1 – бұл Э310, Э320, Э330 маркалы сталдағы кернеуге арналған орам саны, W_2 – бұл Э340, Э350, Э360 маркалы сталдағы кернеуге арналған орам саны, S, cm^2 – өзекшенің қима ауданы, $J, A/mm^2$ – орамдардағы шектік ток тығыздығы, $\eta, \%$ – трансформатордың ПӘК.

ҚОРЫТЫНДЫ

Мамандар осы өзгешілікті жою жолында көптеген жылдар бойы еңбектенуде. Бұл екі түрлі материалдан дайындалатын трансформатордың құны жағынан аса өзгешілігі байқалмайды. Себебі алюминий орамды трансформаторға қажетті дәнекерлеу материалдардың шығыны көп болады яғни осының нәтижесінде бірін-бірі компенсациялайды. Қазіргі таңда көптеген сериялы майлы күштік және құрғақ алюминий орамды трансформаторлар шығарылуда, мұндай трансформаторға да сұраныс жоғары. Себебі құны мен қызмет ету уақытының ұзақтығы және салыстырмалы түрде эффективтілігі талапты қанағаттандырады.

Жоғарыда айтылғандай трансформатордың конструкциясына да өзгерістер ендіруге болады, мәселен қағаз оқшауламаның орнына эмал оқшаулама алмастырсақ оның орамдағы металл салмағы мен өлшемі едәуір кішірейіп ықшамды болар еді. Қуаты 35 Кв-қа дейінгі ЖК трансформатор үшін қағаз оқшаулама қалыңдығы 0,5 мм, эмалмен алмастыру бұл металл орам санағын 0,5 %-ке, сталь және өткізгіш изоляция қалыңдығының әрбір 0,1 мм үшін сталь өзекшенін салмағы 0,75 %-ке үнемделеді [4]. Өткізгіштің қима ауданын сақтай отырып оның оқшаулама қалыңдығын 0,5-0,1 мм-ге өзгерту бұл өзекше металын 3 %-ке, орам металын 2 % - үнемдеуге мүмкіндік береді. Кернеуі 110 кв трансформатор сымдарының қағаз оқшауламаны қалыңдығы шамамен 1,4 мм эмал оқшауламаға алмастыру нәтижесінде орамдағы сымдардың салмағын 3,5-4 %, және өзекшенің салмағын 4,5-5 % үнемдеуге болады. Сонымен эмал оқшаулағыш, қағазға қарағанда едәуір қымбат болады трансформатордағы активті материалдар салмағы төмендейді есесіне оның құндылығы артады. Жоғарыда айтылғандай трансформатордың конструкциясына да өзгерістер ендіруге болады, мәселен қағаз оқшауламаның орнына эмал оқшаулама алмастырсақ оның орамдағы металл салмағы мен өлшемі едәуір кішірейіп ықшамды болар еді. Ол өнімнің сыртқы механикалық күштерге, температураға, жоғары кернеуге т.б. төтенше әсерлерге төзімділігін сақтайды.

Себебі құны мен қызмет ету уақытының ұзақтығы және салыстырмалы түрде эффективтілігі талапты қанағаттандырады.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. – М. : Энергоиздат 2004. – 616 с.
 2 Расчёт и оптимизация тороидальных трансформаторов. С. В. Котенев, А. Н. Евсеев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 287 с. 9. Расчёт и оптимизация тороидальных трансформаторов. С. В. Котенев, А. Н. Евсеев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2011. – 287 с.

3 Справочник радиолюбителя – конструктора. Издание 2-е, переработанное и

4 Hurley, W. G., Gath, E., and Breslin, J. G. «Optimizing the AC resistance of multilayer transformer windings with arbitrary current waveforms,» IEEE Trans. Power Electron., Mar. 2000. – vol. 15, no. 2, P. 369–376.

Материал 11.03.16 баспаға түсті.

П. Т. Рахимжанова

Расчет и анализ работы силовых трансформаторов применяемых в радиосвязи

Международный Казахско-Турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан.

Материал поступил в редакцию 11.03.16.

P. T. Rakhimzhanova

A calculation and analysis of power transformers operation applied in radio contact

A. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.

Material received on 11.03.16.

В промышленных условиях расчет трансформатора – весьма трудоемкая работа, но для радиолюбителей созданы упрощенные методики расчета. Эта работа посвящена простым методам сборки силовых трансформаторов в бытовых условиях, в мастерских, применяя ручной способ.

In industrial conditions the calculation of transformer – is a hard work, but there is created a simplified method of calculation for radio. This article deals with simple methods of gathering of power transformers in everyday life, in work shop using manual work.

ЭОЖ 621.039.543.4 (574)

Б. М. Смайлов¹, А. А. Кадірбаева², Ш. Т. Қошқарбаева³

¹магистрант, ²т.ғ.к., доцент, ³т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент қ.

e-mail: ¹baha_uppr@mail.ru, ²Dias_2003@mail.ru, ³Shayzada-1968@mail.ru

УРАН ЕРІТІНДІЛЕРІН ӨНДІРЕТІН ҰҢҒЫМАЛАРДЫ КҮКІРТ ЖӘНЕ ФТОР ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ ҚОСПАСЫМЕН ТАЗАЛАУ

Бұл мақалада уран өнімдерін жерасты ұңғымалық шаймалау әдісі арқылы уран кендерін өңдегенде кезде, технологиялық ұңғымалардың кольматациялану үрдісіне ұшырау себептері жайында айтылған. Сырдария уран кен провинциясының геологиялық орналасуына байланысты құю немесе сору ұңғымаларында пайда болатын кольматация үрдісінің түрлері мен ұңғымалардың сүзу аймағында пайда болатын тұзды тұнбалардың түрлерімен химиялық құрамына шолу жасалынған. Жоғары карбонатты және ұсақ түйіршікті құмдармен сипатталатын, уран кен орнындағы кольматацияланған ұңғымаларды күкірт және фтор қышқылдарының ерітінділерінің қоспасымен өңдеу әдісінің химиялық параметрлері көрсетілген. Кен денесінің сүзу аймағында жүретін химиялық реакциялардың түрлері мен ұңғыманы өңдеу кезінде қолданылатын химиялық реагенттердің құрамы мен қатынастары көрсетілген. Талдау нәтижелері кесте және графикалық сурет түрінде көрсетілген.

Кілтті сөздер: уран, шаймалау, ұңғыма, өңдеу, кольматация, кен, минерал, күкірт қышқылы, фтор қышқылы, сүзу, сорап.

КІРІСПЕ

Еліміздегі уран өндірісінің қарқынды дамуы – көптеген өнеркәсіп орындарының қуаттылығын арттырды. Жерасты ұңғымалық шаймалау әдісі арқылы өндірілетін уран өнімдерінің көлемі мен сапасы басты назарда екені белгілі. Көптеген өндіріс орындарында жылдық жоспардың көбеюіне байланысты геотехнологиялық аландарды кеңейту және өнімділігі төмендеген технологиялық ұңғымаларды тазалау, қайта қалпына келтіру жұмыстары жүргізілуде.

Технологиялық ұңғымалардың өнімділігінің төмендеуінің басты себептері бірі – кольматация үрдісіне ұшырауы болып табылады. Кольматация деп – технологиялық ұңғымалардың сүзу аймағында, технологиялық ерітінділерде еріген бөлшектердің тұну әсерінен және

сүзгілерде тұздардың пайда болуынан сүзгілердің өткізу өнімділігін төмендеуін айтамыз.

Технологиялық ұңғымалардың кольматация үрдісіне ұшырауы мен түсу жылдамдығына бірнеше факторлар әсер етеді. Олар: кен денесінің геологиялық құрылымы, бұрғылау әдісі, ұңғыма мен сүзгі конструкциясы, сүзгілерді орнату әдісі, сүзгі орнатылғаннан кейін ұңғыманың жұмыс істеу ұзақтығы, жерасты суларының гидрохимиялық құрамы, сору қондырғыларының түрлері, шаймалаушы ерітінді ретінде қолданылатын реагент түрлері және т.б. факторлар әсер етеді.

Жерасты ұңғымалық шаймалау әдісімен кенді өңдегенде кольматацияның мынадай түрлері пайда болады.

Химиялық кольматация өз кезегінде қайтымды және қайтымсыз болып келеді. Қайтымды болып уақытша ерітіндіде темір және алюминий гидроксидтерінің тұнуын айтамыз, ал қайтымсыз болып ерітіндіден гипстің тұнып, шөгуін айтады. Кольматацияның пайда болу аймағы негізінен ұңғыманың сүзу аймағында жүреді. Барлық тұнған бөлшектер, тұздар сүзу аумағында жиналып, сүзгілердің беткі ауданын бітеп, ерітіндіні өткізу өнімділігін төмендетеді [1].

Кольматацияланған қосылыстардың химиялық құрамы әртекті. Көбіне тұнбаға түсетін темір, кальций және магний қосылыстары. Ұңғыманың кольматацияға ұшырауына кен құрамындағы жыныстардың химиялық және минералогиялық құрамы үлкен әсерін тигізеді. Сондай-ақ кендердің геологиялық орналасуына байланысты жоғары карбонатты және кендерде ұсақ түйіршікті құмдардың көптеп кездесуі де технологиялық ұңғымаларда кольматацияның пайда болуына әсер етеді.

Кольматацияланған ұңғымаларды химиялық ерітінділермен тазалау практика жүзінде үлкен қолданысқа ие болды. Ұңғымаларды химиялық ерітінділермен тазалау қолжетімді және жоғары дәрежеде тиімді екенін көрсетті. Химиялық ерітінділерді дайындау барысында тазаланатын ұңғыманың жұмыс сатысын, кольматациялану деңгейін және кольматанттардың химиялық құрамын анықтап алады. Ұңғыманы тазалау кезінде ұңғыманың сүзу аймағына алдын ала дайындалған химиялық ерітіндіні жіберіп, белгілі бір уақыт мерзіміне дейін ұстап, сосын ерітіндіні қайтадан ұңғымадан сорып алып тастайды. Осы кезде ұңғыманың сүзу аймағындағы әртүрлі тұнбалар химиялық ерітіндіде ериді, ерітіндіге өтеді, нәтижесінде сүзу аймағы тазарып, ұңғыманың шаймалаушы ерітіндіні қабылдау мүмкіндігі артады.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Сырдария уран кен провинциясында орналасқан уран кендерін жерасты ұңғымалық шаймалау әдісін қолдана отырып, күкірт қышқылының

ерітіндісін уранқұрамдас кен денесіне құю ұңғымалары арқылы жіберіп, шаймалағанда, уран минералдарымен бірге ұңғымалардың сүзу аймағында көптеген минералдармен жыныстардың еруі артады, нәтижесінде тұзды тұнбалар, гипс және ұсақ түйіршікті құмдардың тығыны пайда болады. Сонымен қатар осы алқапта орналасқан уран кен орындары геологиялық орналасуы жағынан жоғары карбонатты минералдармен ұсақ түйіршікті құмдармен сипатталады.

Уранның өнімді ерітінділерін құю және сору ұңғымалары арқылы өндіру кезінде, ұңғыманың сүзу аймағы кольматацияланып, ұңғымалардың өнімділіктері төмендеп, тазалауға немесе қайта бұрғылауға тура келеді. Кольматацияланған ұңғымаларды шаймалау үрдісінен тоқтатып, ұңғыманың сүзу аймағында тұнбаға түскен тұзды химиялық талдау жасалынды. Ұңғымалардың сүзу аймағында тұнбаға түскен тұзды талдау барысында құрамы анықталынып, төмендегі 1-ші кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Кольматацияланған ұңғымадағы тұнбаға түскен тұздың химиялық құрамы

Сынама	CaO, %	MgO, %	SiO ₂ , %	Fe _{жалпы} , %
№1	3,1	0,77	5,24	25,12
№2	3,2	0,77	5,25	25,08
№3	3,2	0,78	5,25	25,10

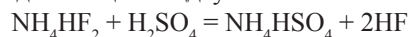
Мұндай құрамда түзілген тұзды ұңғыманың сүзу аймағында еріту үшін күкірт қышқылымен фтор қышқылы сияқты агрессивті ерітінділердің қоспасымен тазалауды қажет етеді. Себебі күкірт қышқылының шоғырының төмен және жоғары болуы шаймалау үрдісіне оң және теріс әсерін тигізеді. Осы жағдайларды ескере отырып, күкірт қышқылының ерітіндісіне фтор қышқылын қосу арқылы ұңғыманың сүзу аймағында жиналған құмдарды ерітіп, тазалау, яғни белгілі бір уақытта және реагенттердің массалық қатынастарын сақтай отырып, бір реттік химиялық өңдеудің қажеттігі туындады.

Химиялық тазалаушы ерітіндіге фтор қышқылын қосу үшін аммоний бифторид тұзын суға еріту арқылы алуға болады. Аммоний бифториді NH₄HF₂ – түссіз, кристалды зат. Суда жақсы ериді және тығыздығы 1,01 г/см³. Фторлы сутек қышқылын оңай алмастырады, оның қышқылға есептегендегі мөлшері 25 % құрайды. Өндірісте МЕСТ 9546-75 бойынша шығарылып, құрғақ қоймаларда ылғалдан және жанып кету қауіпінен сақтайды. Суда өте тез әрі жылдам ериді [2].

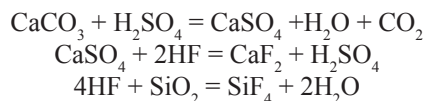
Күкірт және фтор қышқылдарының ерітінділерінің қоспасымен уран өнімдерін өндіретін ұңғымаларды тазалау үшін ең жоғары дәрежеде кольматацияланған және өнімділігі төмендеп кеткен ұңғыма таңдалынып

алынды. Химиялық ерітіндіні дайындау барысында қолданылатын реагенттердің ең тиімді қатынастарын зертханалық тәжірибелер арқылы анықталды. Химиялық тазалайтын ерітіндінің құрамын: сорбция үрдісінен шығатын айдама ерітіндідегі күкірт қышқылының шоғыры 40 г/л дейін қышқылдандырып, ал ерітіндідегі аммоний бифторидінің үлесін 2,0-2,5 % етіп дайындалады.

Таңдалынып алынған аммоний бифториді қышқылдық ортада фтор қышқылына айналып, ұңғыманың сүзу аймағындағы кольматанттарға тікелей әсер етіп, оларды ерітеді. Реакция теңдеуі:



Фтор қышқылы күшті агрессивті ерітінді болғандықтан ұңғыманың сүзу аймағында тұнбаға түскен кремний қосылыстарын, әртүрлі алюминий силикаттарын, гипсті және ұсақ түйіршікті құмдарды ерітіп тастайды. Реакция теңдеуі:



№ 31-2-2 кольматацияланған ұңғыманы күкірт қышқылының ерітіндісімен және суда ерігенде фтор қышқылына айналатын аммоний бифторидінің қоспасымен тазалау кезінде, ұңғыманың сүзу аймағынан шығатын химиялық өңдеуші ерітіндінің химиялық құрамын анықтау үшін сынамалар алынып, физика-химиялық талдау жасалынды. Талауда нәтижесі бойынша ерітіндінің химиялық құрамы төмендегі 2-ші кестеде көрсетілген.

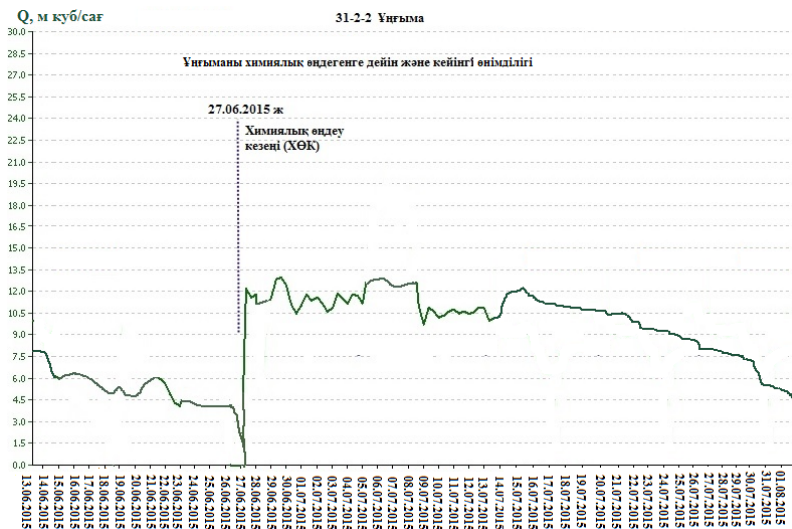
Кесте 2 – Сынамалық ерітіндінің химиялық құрамы

№31-2-2	U, г/л	Fe ³⁺ , г/л	Fe ²⁺ , г/л	H ₂ SO ₄ , г/л	Mg ²⁺ , г/л	Ca ²⁺ , г/л	SiO ₂ , г/л	Al ³⁺ , г/л	PH
Құрамы	0,048	0,17	1,55	2,12	0,71	1,43	0,096	0,437	1,82

Кольматацияланған ұңғыманың сүзу аймағын күкірт қышқылының ерітіндісімен және суда ерігенде фтор қышқылына айналатын аммоний бифторидінің қоспасымен тазалағанда ұңғыманың өнімділіктері артып, сүзу аймағының өнімді ерітіндіні өткізу мүмкіндігі артады. Тазалау нәтижесін өңдеуге дейінгі ұңғыманың өнімділігімен салыстыра отырып, 3-ші кесте мәліметтерін пайдалана отырып, ұңғыманың өнімділігінің өзгеру қисығы тұрғызылды (1 сурет).

Кесте 3 – № 31-2-2 ұңғыманың өңдеуге дейінгі және кейінгі өнімділігі

Күні	Q, м ³ /сағ	Күні	Q, м ³ /сағ	Күні	Q, м ³ /сағ
19.06.2015	5,8	03.07.2015	10,6	18.07.2015	11,5
20.06.2015	4,8	04.07.2015	11,5	19.07.2015	11,2
21.06.2015	6,0	05.07.2015	11,6	20.07.2015	11,2
22.06.2015	5,9	06.07.2015	12,4	21.07.2015	11,0
23.06.2015	4,5	07.07.2015	13,0	22.07.2015	10,6
24.06.2015	4,2	08.07.2015	12,5	23.07.2015	10,2
25.06.2015	4,1	09.07.2015	10,8	24.07.2015	9,9
26.06.2015	4,1	10.07.2015	10,6	25.07.2015	9,6
27.06.2015	1,5	11.07.2015	10,5	26.07.2015	9,3
27.06.2015	12	12.07.2015	10,45	27.07.2015	9,0
28.06.2015	11,7	13.07.2015	10,7	28.07.2015	8,6
29.06.2015	11,5	14.07.2015	10,8	29.07.2015	8,5
30.06.2015	13,2	15.07.2015	12,2	30.07.2015	7,7
01.07.2015	10,5	16.07.2015	12,0	31.07.2015	7,5
02.07.2015	11,8	17.07.2015	11,8	01.08.2015	6,8



Сурет 1 – №31-2-2 ұңғыманың химиялық өңдеуге дейінгі және кейінгі өнімділігінің өзгеру графигі

№ 31-2-2 ұңғыманың химиялық өңдеуге дейінгі және кейінгі өнімділігінің көрсеткіштері бойынша тұрғызылған 1-ші суреттегі графигі

талдайтын болсақ, онда ұңғыманың өнімділігінің $1,5 \text{ м}^3/\text{сағ}$ тан $12 \text{ м}^3/\text{сағ}$ дейін артқанын, яғни химиялық өңдегенге дейінгі ұңғыманың қисығының бағыты төмендесе, ал химиялық өңдеу жүргізілген 27.06.2015 күннен бастап ұңғыма өнімділігінің бірден артқанын қисық сызықтың бағытынан жоғарлауынан байқауымызға болады. Химиялық өңдеуден кейін ұңғыманың өнімділігі $13,0 \text{ м}^3/\text{сағ}$ дейін көтерілгенін және уақыт өте келе қайтадан өнімділігінің төмендеп 02.08.2015 күні $4,7 \text{ м}^3/\text{сағ}$ дейін азайғанын, яғни химиялық ерітінділермен өңдеудің әсерінен ұңғыманың 36 күнге дейін өнімді ерітіндіні өткізу мүмкіндігін артқанын байқауымызға болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу жұмысын қорыта келгенде күкірт қышқылының ерітіндісімен аммоний бифторидінің қоспасымен технологиялық ұңғымаларды тазалағанда ұңғыманың сүзу және құбыр бойында жиналған тұзды тұнбалар мен ұсақ түйіршікті құмды бөлшектер еріп, ұңғымалардың қабылдау мүмкіндіктерімен өнімділігінің артқаны байқалады. Демек ұңғыманың сүзу аймағы белгілі бір дәрежеге дейін тазарып, уран ерітінділерін өндіру үшін шаймалау үрдісінің тұрақты жүруіне қолайлы жағдай туғызатындығы сөзсіз.

Кольматацияланған ұңғымаларды күкірт қышқылының ерітіндісімен аммоний бифторидінің қоспасымен тазалау үрдісі кезінде бірнеше тиімді нәтижелерге көз жеткізуге болатындығы анықталды. Ұңғымаларды химиялық өңдеудің артықшылықтары төмендегідей болып келеді.

1. Технологиялық ұңғымалардың өнімділігін қалпына келтіру;
2. Технологиялық ұңғымаларды жөндеу қалпына келтіру (ЖҚК) жұмыстарының циклдық санының азаюы;
3. Ұңғымаларды ЖҚК жұмыстарына жұмсалынатын шығындардың азаюы;
4. Геотехнологиялық блоктардың өнімділігінің артуына байланысты өндіру үрдісіне қажетті шығындардың төмендеуі.

Жоғарыда аталған өңдеу үрдісінің артықшылықтарынан бөлек ұңғымаларды тазалаудың экономикалық жағынан тиімділігі де жеткілікті. Оларға:

1. Шаймалау үрдісі кезінде технологиялық ұңғымалардан ерітінділерді сору үшін жұмсалынатын электр қуатының шығынының азаюы;
2. Блокты қышқылдандыру қатысты электр қуатының шығынының азаюы;
3. Жөндеу қалпына келтіру (ЖҚК) жұмыстарына жұмсалынатын жанар май шығынының азаюы;
4. Геотехнологиялық ұңғымаларды қайта қазу, яғни бұрғылау шығындарының төмендеуі мен азаюы.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Бугенов, Е. С., Васильевский, О. В.,** Табиғи уранның химиялық концентраттарын алу технологиясы және физика-химиялық негіздері. – Алматы : Қ. И. Сәтпаев атындағы ҚазҰТУ, 2007. – 424 б.

2 www.yandex.бифторид аммония / chtt.kz

3 **Язиков, В. Г., Забазов, В. Л., Петров, Н. Н., Рогов, Е. И.** Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. – Алматы, 2001. – 244 с.

Материал 05.02.16 баспаға түсті.

В. М. Смайлов, А. А. Кадирбаева, Ш. Т. Кошкарбаева

Очистка уранодобывающих скважин с помощью смешанного раствора серной и фтороводородной кислоты

Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, Шымкент.
Материал поступил в редакцию 05.02.16.

В. М. Smaylov, A. A. Kadirbaeva, Sh. T. Koshkarbaeva

Cleaning uranium producing wells with mixed solution of sulfuric acid and hydrofluoric acid

M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent.
Material received on 11.03.16.

В данной статье описываются причины образования кольматационных процессов в технологических скважинах рудника, в которых добываются урановые продукты, методом подземного скважинного выщелачивания. А также приведены составы химических солевых осадков, образовавшихся в прифилтровых зонах скважин и видов кольматационных процессов, образующихся в откачных и закачных скважинах в зависимости от геологических месторождений урана в провинции Сырдарья. Показаны химические параметры обработки кольматационных скважин с помощью смеси серной и фтороводородной кислоты в условиях повышенного содержания карбонатов и мелкозернистых песков в горнорудной массе. Рассматривается соотношение и состав используемых химических реагентов при обработке скважин и видов химических реакций образующихся в прифилтровых зонах. Результаты анализов приведены в виде таблицы и графических изображений.

In this article the reasons of formation of colmatation processes in technological downholes during processing of uranium products with a method of underground downhole lixiviating are described. Also, there are shown the compositions of chemical salt fallouts formed in the filtration zones of mining holes and types of colmatation processes carrying out in pumping and injection downholes in geological fields of uranium in the province Syrdarya. The chemical parameters of treatment of colmatation downholes by means of mixture by sulfuric acid and hydrofluoric acids in the conditions of increased containing of carbonates and fine-grained sands in mining mass are shown. Ratio and composition of the used chemical reagents are set out at treatment of downholes and types of chemical reactions forming in filtration zones. Result of analyses are shown as a table and graphical picture.

УДК 621.771.65:658.562.3

М. Р. Суенова¹, Ж. М. Ыксан²

¹студент, ²к.т.н., ассоц. профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

В данной статье представлены пути решения вопросов, связанных с удовлетворенностью потребителя в виде методики квалитетической оценки качества металлопродукции.

Ключевые слова: оценка, критерий, качество, металлопродукция, уровень, контроль.

При производстве термически упрочненной металлопродукции потребитель может задать определенный уровень качества готовой продукции. Производитель же, для достижения требуемого качества, использует специальную методику, которая позволяет своевременно принять решение и внедрить его в технологический процесс. Оперативный процесс управления качеством позволит обеспечить:

- промежуточный контроль качества;
- управление качеством в процессе производства продукции;
- расширение номенклатуры выпускаемой продукции;
- реализацию программы импортозамещения металлопродукции в

Республике Казахстан.

На металлургических предприятиях контрольные операции выполняются представителями многих служб, цехов, отделов. Контроль качества в процессе изготовления продукции осуществляется работниками отдела технического контроля для предотвращения выпуска продукции, не соответствующей требованиям стандартов и технических условий, проектно-конструкторской и технологической документации.

Предприятие, выпускающее продукцию, должно в своей деятельности учитывать три тенденции, характерные для всех времен [1].

1. Потребители предъявляют все более высокие требования к качеству, что обостряет конкурентоспособность. Обеспечение прежнего уровня качества требует опережающего повышения уровня качества компонентов готовой продукции (элементов изделия, деталей).

2. В результате повышенных требований к качеству продукции, существующие методы управления качеством устаревают. Интенсивное развитие технологии производства требует тщательной разработки конструкции устройства, изделия с применением автоматизации производства, для чего необходима ускоренная механизация контрольного и испытательного оборудования.

3. Расходы на качество резко возрастают. Это связано с затратами на контрольные операции, проведение испытаний в лабораториях, корректировку и исправление брака, на рекламации потребителей [1].

Известный американский ученый, изучающий вопросы качества, А. Фейгенбаум, объединяя эти тенденции, называл их двойственной проблемой, которая для обеспечения конкурентоспособности предприятия, может быть решена двумя путями:

- а) параллельное улучшение качества продукции и методов обеспечения качества;
- б) сокращение общих расходов на достижение требуемого уровня качества [2].

Филипп Кросби положил начало распространению концепции нулевых дефектов, которая заключается в том, что за качество не платят. Деньги приходится платить за отсутствие и недостаток качества, что и должно быть предметом контроля [2].

Для поиска эффективных методов управления качеством упрочненной металлопродукции за целевую функцию можно использовать функцию сверстки единичных показателей качества в комплексный.

Критерием наибольшей целесообразности оптимального варианта из нескольких возможных способов является максимальное значение комплексного показателя оценки результативности производства [2].

При использовании шкалы отношений в качестве измерительной принимается шкала, на которой определяется численное значение величины

qі как математического отношения измеряемого размера Q к другому известному размеру, принимаемого за единицу измерений [Q].

При разработке целевой функции для оценки процессов формирования потребительских свойств упрочненной металлопродукции использованы методы экспертных оценок и статистической обработки экспериментальных данных.

В результате исследований предложена методика квалитметрической оценки уровня качества металлопродукции.

Расчеты производились для наиболее массового вида металлопродукции, используемой в строительной индустрии - арматурного проката.

Оценивался уровень качества продукции (арматурный прокат различного диаметра) по результатам аттестации по трем категориям качества: высшая, первая и вторая – и сравнивалось качество реализованной продукции по объему выпуска и годам с помощью средневзвешенного индекса качества.

Функциональная зависимость для данного показателя имеет следующий вид [3]:

$$P = K_{им} \cdot K_T \cdot K_{ГПР} \quad (1)$$

где $K_{им}$ – комплексный показатель свойств исходного металла (не термообработанного);

K_T – комплексный показатель технологии термического упрочнения проката;

$K_{ГПР}$ – комплексный показатель качества готовой продукции.

Оценка свойств исходного металла $K_{им}$

$$K_{им} = d_{им1}^3 \cdot d_{им2}^7 \cdot (\kappa_{им1} + \kappa_{им2})$$

где единичные показатели свойств исходного металла, соответственно:

$d_{им1}^3$ – предела текучести материала;

$d_{им2}^7$ – временного сопротивления разрыву;

$\kappa_{им1}$ – относительного удлинения; $\kappa_{им2}$ – твердости.

Оценка комплексного показателя технологии термического упрочнения $K_{ту}$:

$$K_{ту} = K_{ТП} \cdot K_{ОЭП} \quad (2)$$

где $K_{ТП}$ – комплексный показатель технологических факторов;

$K_{ОЭП}$ – комплексный показатель организационно-экономических параметров процесса.

Методика, предназначенная для проведения контроля параметров качества термически упрочненного сортового проката из стали марки Ст5 и предполагает выполнение работниками службы отдела технического контроля следующих операций.

1. Для контроля параметров качества изготавливается образец из одной партии прутка, по тем же техническим требованиям.

2. Испытания твердости проводят универсальным портативным твердомером марки МЕТ-У1, (максимальное усилие 1,7 Н) статическим методом в соответствии с ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.

3. Рабочая длина образца с номинальным диаметром до 28 мм включительно должна составлять 15-20±0,5 мм.

4. Образец предварительно подвергают механической обработке (шлифование, полирование) для достижения шероховатости поверхности Ra 2,5 и радиуса кривизны – не менее 5 мм.

5. Диаметры подготовленных образцов арматуры измеряют штангенциркулем или микрометром по ГОСТ 6507-78.

6. Образец нагружается до предварительной нагрузки со скоростью 10-15 мм/мин.

7. Испытания твердости проводят на различных расстояниях от поверхностных слоев.

8. По полученным усредненным значениям твердости определяют параметр твердости R_n .

9. Далее определяют значения временного сопротивления σ_B , предела текучести σ_T и относительного удлинения.

10. Отклонения параметров качества от заданных потребителем значений корректируются регулированием расхода охладителя в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Расход охладителя для термического упрочнения арматурного проката (по классам прочности)

Уровень качества	Механические свойства				Расход охладителя, Q, м³/ч
	Твердость, HB	Временное сопротивление, σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ , %	
АII	150-250	550	440	16	0-200
АIII	250-300	600	500	14	200-300
АIV	300-350	800	600	12	300-400
AV	400	1000	800	8	500-600
AVI	600	1250	1000	7	700-800

Для корректировки значений параметра качества – предела текучести термически упрочненного проката применяется схема управления качеством, на которой указаны верхняя и нижняя пределы границ значений предела текучести, заданных потребителем. Данная схема дает наглядное представление о появлении несоответствий при контроле параметров качества, позволяет оперативно корректировать требуемые значения в процессе термического упрочнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Кулибаев, А. А. Соловьев, В. И. СМК: Менеджмент качества – инструмент прогресса товаропроизводителей. – 2003. – №2. – С. 7-10.
- 2 Крылова, Г. Д. Зарубежный опыт управления качеством. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
- 3 Чупырина, В. Н., Никифорова, А. Д. Технический контроль: Справочник проектировщика– М. : Машиностроение, 1987. – 512 с.

Материал поступил в редакцию 15.01.16.

М. Р. Суенова, Ж. М. Ықсан

Металл өнімдерінің сапасын бағалау әдісі

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 15.01.16 баспаға түсті.

M. Suenova, Zh. Yksan

Method of assessment of metal products quality

S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 15.01.16.

Бұл мақалада металл өнімдерінің сапасын квалиметриялық бағалау әдісі түрінде тұтынушыларды қанағаттандырумен байланысты сұрақтарды шешу жолдары көрсетілген.

This paper presents a solution to issues related to customer satisfaction as a methodology to quantify the quality of metal.

УДК 539.3+624.195

В. Н. Украинаец¹, С. Р. Гурнис², К. М. Кошанова³

¹д.т.н., профессор, ²к.т.н., ассоц. профессор, ³магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ТОННЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАЦИОНАРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ НАГРУЗОК

Решена задача о действии подвижной нагрузки на бесконечно длинную круговую толстостенную оболочку, расположенную в упругом пространстве. Данная задача является модельной при исследовании динамики тоннелей глубокого заложения при действии стационарных транспортных нагрузок (нагрузок от движущегося с постоянной скоростью внутритоннельного транспорта).

Ключевые слова: тоннель, транспортная нагрузка, напряженно-деформированное состояние.

ВЕДЕНИЕ

К настоящему времени научными, проектными и строительными организациями накоплен большой опыт успешной реализации самых сложных проектов подземного строительства. Созданы новые прогрессивные конструктивные решения подземных объектов, разработаны эффективные аналитические и численные методы их расчёта на большинство различных видов нагрузок и воздействий. Тем не менее, до сих пор практически отсутствуют действенные методы расчёта тоннелей на транспортные нагрузки (нагрузки от движущегося внутритоннельного транспорта), хотя мировая практика эксплуатации тоннелей свидетельствует о многочисленных повреждениях и разрушениях, которым данные сооружения подвергаются вследствие их воздействия. Экспериментальные исследования показывают, что воздействие транспортных нагрузок на тоннель приводит к возникновению вибраций как в самом сооружении, так и в окружающем его породном массиве. С увеличением скорости движения нагрузок вибрации возрастают. Превышение уровнями вибраций допустимых норм может привести к потере несущей способности конструкций тоннеля или их непригодности для нормальной эксплуатации, а при его мелком заложении – к тем же последствиям для расположенных вблизи наземных сооружений. Следует заметить, что экспериментальные методы исследования вибрационных процессов, возникающих в тоннелях вследствие действия транспортных нагрузок, требуют значительных материальных затрат, а в некоторых случаях

их проведение не представляется возможным. В связи с этим необходимы эффективные методы динамических расчётов конструкций тоннелей, основанные на математических моделях с использованием современных представлений механики.

1. Постановка задачи. Используя для исследований модельный подход, представим транспортный тоннель глубокого заложения как бесконечно длинную круговую цилиндрическую однородную упругую толстостенную оболочку, расположенную в линейно-упругом, однородном и изотропном пространстве. Обозначим наружный радиус оболочки R_1 , внутренний – R_2 и введём цилиндрическую систему координат (r, θ, z) , начало которой лежит на оси оболочки (рисунок 1). Контакт между оболочкой и окружающей её упругой средой (массивом) будем полагать либо жестким, либо скользящим при двусторонней связи в радиальном направлении.

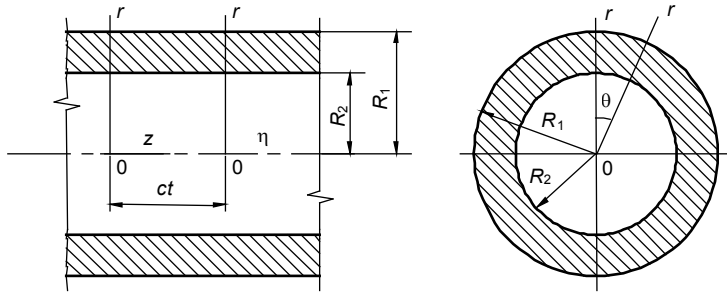


Рисунок 1 – Однородная толстостенная оболочка в упругом пространстве

На внутреннюю поверхность оболочки действует нагрузка интенсивностью P , движущаяся с постоянной скоростью c в направлении оси z . Введём ограничение на величину скорости движения нагрузки, принимая её меньше скоростей распространения волн сдвига в оболочке и массиве (дозвуковой случай). Физико-механические свойства материала массива и оболочки характеризуются соответственно следующими постоянными: $\nu_1, \mu_1, \rho_1; \nu_2, \mu_2, \rho_2$, где ν_k – коэффициент Пуассона, $\mu_k = E_k / 2(1 + \nu_k)$ – модуль сдвига, ρ_k – плотность, E_k – модуль упругости ($k = 1, 2$). В дальнейшем индекс $k = 1$ относится к массиву, а $k = 2$ – к оболочке.

Определим реакцию упругого пространства и оболочки на данную подвижную нагрузку, используя для описания движения оболочки и массива динамические уравнения теории упругости

$$(\lambda_k + \mu_k) \text{grad div } \mathbf{u}_k + \mu_k \nabla^2 \mathbf{u}_k = \rho_k \frac{\partial^2 \mathbf{u}_k}{\partial t^2}, \quad k = 1, 2, \quad (1)$$

где $\lambda_k = 2\mu_k \nu_k / (1 - 2\nu_k)$, \mathbf{u}_k – векторы смещений точек массива и оболочки, ∇^2 – оператор Лапласа.

Так как рассматривается установившийся процесс, то картина деформаций стационарна по отношению к движущейся нагрузке. Поэтому удобно перейти к подвижной системе координат $r, \theta, \eta = z - ct$. Тогда уравнения (1) примут вид

$$\left(\frac{1}{M_{pk}^2} - \frac{1}{M_{sk}^2} \right) \text{grad div } \mathbf{u}_k + \frac{1}{M_{sk}^2} \nabla^2 \mathbf{u}_k = \frac{\partial^2 \mathbf{u}_k}{\partial \eta^2}, \quad k = 1, 2, \quad (2)$$

где $M_{pk} = c/c_{pk}$, $M_{sk} = c/c_{sk}$ – числа Маха; $c_{pk} = \sqrt{(\lambda_k + 2\mu_k)/\rho_k}$, $c_{sk} = \sqrt{\mu_k/\rho_k}$ – скорости распространения волн расширения-сжатия и сдвига в массиве ($k = 1$) и оболочке ($k = 2$).

Выражая \mathbf{u}_k через потенциалы Ламе [1]

$$\mathbf{u}_k = \text{grad } \varphi_{1k} + \text{rot}(\varphi_{2k} \mathbf{e}_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_{3k} \mathbf{e}_\eta), \quad k = 1, 2, \quad (3)$$

преобразуем уравнения (2) к виду

$$\nabla^2 \varphi_{jk} = M_{jk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{jk}}{\partial \eta^2}, \quad j = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2. \quad (4)$$

Здесь $M_{1k} = M_{pk}$, $M_{2k} = M_{3k} = M_{sk}$.

Выразим компоненты напряжённо-деформированного состояния (НДС) оболочки и массива через потенциалы φ_{jk} .

Компоненты вектора \mathbf{u}_k (3):

$$\begin{aligned} u_{rk} &= \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta \partial r}, \\ u_{\theta k} &= \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial \theta} - \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta \partial \theta}, \\ u_{\eta k} &= \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial \eta} + m_{sk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $m_{sk}^2 = 1 - M_{sk}^2$.

Используя закон Гука и соотношения (5), получаем выражения для компонент тензора напряжений

$$\begin{aligned} \sigma_{\eta\eta k} &= (2\mu_k + \lambda_k M_{pk}^2) \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta^2} + 2\mu_k m_{sk}^2 \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \eta^3}, \\ \sigma_{\theta\theta k} &= \lambda_k M_{pk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta^2} + \frac{2\mu_k}{r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \theta^2} + \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial \theta} - \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial r \partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \theta^2 \partial \eta} + \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial r \partial \eta} \right), \\ \sigma_{rrk} &= \lambda_k M_{pk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta^2} + 2\mu_k \left(\frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial \theta \partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial \theta} + \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial r^2 \partial \eta} \right), \\ \sigma_{r\eta k} &= \mu_k \left(2 \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta \partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial \theta \partial \eta} + (1 + m_{sk}^2) \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \eta^2 \partial r} \right), \\ \sigma_{\eta\theta k} &= \mu_k \left(\frac{2}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \theta \partial \eta} - \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial r \partial \eta} + \frac{(1 + m_{sk}^2)}{r} \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \theta \partial \eta^2} \right), \\ \sigma_{r\theta k} &= 2\mu_k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \theta \partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial \theta} - \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial r^2} - \frac{m_{sk}^2}{2} \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial \eta^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial r \partial \eta \partial \theta} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta \partial \theta} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, для определения компонент НДС оболочки и массива необходимо решить уравнения (4) используя следующие граничные условия:

– для скользящего контакта оболочки с массивом
 при $r = R_1$ $u_{r1} = u_{r2}$, $\sigma_{rr1} = \sigma_{rr2}$, $\sigma_{r\eta 1} = 0$, $\sigma_{r\theta 1} = 0$, $\sigma_{r\eta 2} = 0$, $\sigma_{r\theta 2} = 0$,

$$(7, a)$$

при $r = R_2$ $\sigma_{rj2} = P_j(\theta, \eta)$,
 $j = r, \theta, \eta$;
 – для жёсткого контакта оболочки с массивом
 при $r = R_1$ $u_{j1} = u_{j2}$, $\sigma_{rj1} = \sigma_{rj2}$,

$$(7, б)$$

при $r = R_2$ $\sigma_{rj2} = P_j(\theta, \eta)$,
 $j = r, \theta, \eta$;
 Здесь $P_j(\theta, \eta)$ – составляющие интенсивности подвижной нагрузки $P(\theta, \eta)$.

2. Аналитическое решение задачи. Рассмотрим вначале периодическую задачу, когда подвижная нагрузка $P(\theta, \eta)$ периодична по η и представима в виде синусоидальной нагрузки с произвольной зависимостью от угловой координаты

$$\begin{aligned} P(\theta, \eta) &= p(\theta) e^{i\xi\eta}, \quad p(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{in\theta}, \\ P_j(\theta, \eta) &= p_j(\theta) e^{i\xi\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta, \end{aligned} \quad (8)$$

где константа ξ определяет период $T = 2\pi/\xi$ действующей нагрузки.

Потенциалы φ_{jk} также будем искать в виде периодических функций по η

$$\varphi_{jk}(r, \theta, \eta) = \Phi_{jk}(r, \theta) e^{i\xi\eta}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (4), получим видоизменённые уравнения Гельмгольца

$$\nabla_2^2 \Phi_{jk} - m_{jk}^2 \xi^2 \Phi_{jk} = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, \quad (10)$$

где ∇_2^2 – двумерный оператор Лапласа, $m_{jk}^2 = 1 - M_{jk}^2$, $m_{1k} \equiv m_{pk}$, $m_{2k} = m_{3k} \equiv m_{sk}$.

В дозвуковом случае $M_{sk} < 1$ ($m_{2k} = m_{3k} = m_{sk} > 0$, $k = 1, 2$), и мы приходим к известным решениям уравнений (10):

– для массива

$$\Phi_{j1} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} K_n(k_{j1}r) e^{in\theta}, \quad (11, a)$$

– для оболочки

$$\Phi_{j2} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (a_{nj+3} K_n(k_{j2}r) + a_{nj+6} I_n(k_{j2}r)) e^{in\theta}. \quad (11, б)$$

Здесь $I_n(kr), K_n(kr)$ – соответственно модифицированные функции Бесселя и функции Макдональда, $k_{j1} = |m_{j1}\xi|$, $k_{j2} = |m_{j2}\xi|$, $j = 1, 2, 3$; a_{n1}, \dots, a_{n9} – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

Подставляя (11,а) с учётом (9) в (5), (6), получаем формулы для вычисления компонент напряженно-деформированного состояния массива (* означает, что данные компоненты найдены при решении периодической задачи)

$$u_{n1}^* = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 T_{lj1} (K_n(k_{j1}r)) e^{i(\xi\eta+n\theta)} a_{nj},$$

$$\frac{\sigma_{lm1}^*}{\mu_1} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 S_{lmj1} (K_n(k_{j1}r)) e^{i(\xi\eta+n\theta)} a_{nj}, \quad (12)$$

где $l = r, \theta, \eta, m = r, \theta, \eta$;

$$T_{r11} = k_{11}K_n'(k_{11}r), \quad T_{r21} = -\frac{n}{r}K_n(k_{21}r), \quad T_{r31} = -\xi k_{31}K_n'(k_{31}r),$$

$$T_{\theta11} = \frac{n}{r}K_n(k_{11}r)i, \quad T_{\theta21} = -k_{21}K_n'(k_{21}r)i, \quad T_{\theta31} = -\frac{n}{r}\xi K_n(k_{31}r)i,$$

$$T_{\eta11} = \xi K_n(k_{11}r)i, \quad T_{\eta21} = 0, \quad T_{\eta31} = -k_{31}^2 K_n(k_{31}r)i,$$

$$S_{rr11} = 2 \left(k_{11}^2 + \frac{n^2}{r^2} - \frac{\lambda_1 M_{p1}^2 \xi^2}{2\mu_1} \right) K_n(k_{11}r) - \frac{2k_{11}K_n'(k_{11}r)}{r},$$

$$S_{rr21} = \frac{2n}{r^2} K_n(k_{21}r) - \frac{2k_{21}K_n'(k_{21}r)}{r},$$

$$S_{rr31} = -2\xi \left(k_{31}^2 + \frac{n^2}{r^2} \right) K_n(k_{31}r) + \frac{2\xi k_{31}K_n'(k_{31}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta11} = -2 \left(\frac{n^2}{r^2} + \frac{\lambda_1 M_{p1}^2 \xi^2}{2\mu_1} \right) K_n(k_{11}r) + \frac{2k_{11}K_n'(k_{11}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta21} = -\frac{2nK_n(k_{21}r)}{r^2} + \frac{2nk_{21}K_n'(k_{21}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta31} = \frac{2\xi n^2 K_n(k_{31}r)}{r^2} - \frac{2\xi k_{31}K_n'(k_{31}r)}{r},$$

$$S_{\eta\eta11} = -2\xi^2 \left(\frac{1 + \lambda_1 M_{p1}^2}{2\mu_1} \right) K_n(k_{11}r), \quad S_{\eta\eta21} = 0, \quad S_{\eta\eta31} = 2m_{31}^2 \xi^3 K_n(k_{31}r),$$

$$S_{r\theta11} = \left(-\frac{2nK_n(k_{11}r)}{r^2} + \frac{2nk_{11}K_n'(k_{11}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{r\theta21} = \left(-\left(k_{21}^2 + \frac{2n^2}{r^2} \right) K_n(k_{21}r) + \frac{2k_{21}K_n'(k_{21}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{r\theta31} = \left(\frac{2n\xi K_n(k_{31}r)}{r^2} - \frac{2n\xi k_{31}K_n'(k_{31}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{\theta\eta11} = -\frac{2n\xi K_n(k_{11}r)}{r}, \quad S_{\theta\eta21} = \xi k_{21}K_n'(k_{21}r), \quad S_{\theta\eta31} = \frac{n\xi^2(1+m_{31}^2)K_n(k_{31}r)}{r},$$

$$S_{r\eta11} = 2\xi k_{11}K_n'(k_{11}r)i, \quad S_{r\eta21} = -\frac{\xi n K_n(k_{21}r)i}{r},$$

$$S_{r\eta31} = -\xi^2 k_{31}(1+m_{31}^2)K_n'(k_{31}r)i; \quad K_n'(k_{j1}r) = \frac{dK_n(k_{j1}r)}{d(k_{j1}r)}.$$

Аналогично подставляя (11,б) в (5), (6), получаем формулы для вычисления компонент напряженно-деформированного состояния оболочки

$$u_{l2}^* = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 \left[T_{lj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}r)) a_{nj+3} + T_{lj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}r)) a_{nj+6} \right] e^{i(\xi\eta+n\theta)}, \quad (13)$$

$$\frac{\sigma_{lm2}^*}{\mu_2} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 \left[S_{lmj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}r)) a_{nj+3} + S_{lmj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}r)) a_{nj+6} \right] e^{i(\xi\eta+n\theta)}.$$

Здесь $l = r, \theta, \eta, m = r, \theta, \eta$;

$$T_{r12}^{(1)} = k_{12}K_n'(k_{12}r), \quad T_{r22}^{(1)} = -\frac{n}{r}K_n(k_{22}r), \quad T_{r32}^{(1)} = -\xi k_{32}K_n'(k_{32}r),$$

$$T_{\theta12}^{(1)} = \frac{n}{r}K_n(k_{12}r)i, \quad T_{\theta22}^{(1)} = -k_{22}K_n'(k_{22}r)i, \quad T_{\theta32}^{(1)} = -\frac{n}{r}\xi K_n(k_{32}r)i,$$

$$T_{\eta12}^{(1)} = \xi K_n(k_{12}r)i, \quad T_{\eta22}^{(1)} = 0, \quad T_{\eta32}^{(1)} = -k_{32}^2 K_n(k_{32}r)i,$$

$$S_{rr12}^{(1)} = 2 \left(k_{12}^2 + \frac{n^2}{r^2} - \frac{\lambda_2 M_{p2}^2 \xi^2}{2\mu_2} \right) K_n(k_{12}r) - \frac{2k_{12}K_n'(k_{12}r)}{r},$$

$$S_{rr22}^{(1)} = \frac{2n}{r^2} K_n(k_{22}r) - \frac{2k_{22}K_n'(k_{22}r)}{r},$$

$$S_{rr32}^{(1)} = -2\xi \left(k_{32}^2 + \frac{n^2}{r^2} \right) K_n(k_{32}r) + \frac{2\xi k_{32}K_n'(k_{32}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta12}^{(1)} = -2 \left(\frac{n^2}{r^2} + \frac{\lambda_2 M_{p2}^2 \xi^2}{2\mu_2} \right) K_n(k_{12}r) + \frac{2k_{12}K_n'(k_{12}r)}{r},$$

$$S_{0022}^{(1)} = -\frac{2nK_n(k_{22}r)}{r^2} + \frac{2nk_{22}K'_n(k_{22}r)}{r},$$

$$S_{0032}^{(1)} = \frac{2\xi n^2 K_n(k_{32}r)}{r^2} - \frac{2\xi k_{32} K'_n(k_{32}r)}{r},$$

$$S_{\eta\eta 12}^{(1)} = -2\xi^2 \left(\frac{1 + \lambda_2 M_{p2}^2}{2\mu_2} \right) K_n(k_{12}r), \quad S_{\eta\eta 22}^{(1)} = 0, \quad S_{\eta\eta 32}^{(1)} = 2m_{32}^2 \xi^3 K_n(k_{32}r),$$

$$S_{r\theta 12}^{(1)} = \left(-\frac{2nK_n(k_{12}r)}{r^2} + \frac{2nk_{12}K'_n(k_{12}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{r\theta 22}^{(1)} = \left(-\left(k_{22}^2 + \frac{2n^2}{r^2} \right) K_n(k_{22}r) + \frac{2k_{22}K'_n(k_{22}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{r\theta 32}^{(1)} = \left(\frac{2n\xi K_n(k_{32}r)}{r^2} - \frac{2n\xi k_{32}K'_n(k_{32}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{\theta\eta 12}^{(1)} = -\frac{2n\xi K_n(k_{12}r)}{r}, \quad S_{\theta\eta 22}^{(1)} = \xi k_{22} K'_n(k_{22}r), \quad S_{\theta\eta 32}^{(1)} = \frac{n\xi^2 (1 + m_{32}^2) K_n(k_{32}r)}{r},$$

$$S_{r\eta 12}^{(1)} = 2\xi k_{12} K'_n(k_{12}r) i, \quad S_{r\eta 22}^{(1)} = -\frac{\xi n K_n(k_{22}r) i}{r},$$

$$S_{r\eta 32}^{(1)} = -\xi^2 k_{32} (1 + m_{32}^2) K'_n(k_{32}r) i;$$

$K'_n(k_{j2}r) = \frac{dK_n(k_{j2}r)}{d(k_{j2}r)}$; $T_{lj2}^{(2)}$, $S_{lmj2}^{(2)}$ получаются из $T_{lj2}^{(1)}$, $S_{lmj2}^{(1)}$ заменой K_n на I_n .

Для определения при фиксированном n девяти неизвестных коэффициентов a_{n1}, \dots, a_{n9} , воспользуемся граничными условиями (7,а), (7,б), переписанными для периодической задачи с учётом (8), (12), (13).

Приравнявая коэффициенты рядов при $e^{in\theta}$, получим бесконечную систему ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) линейных алгебраических уравнений блочно-диагонального вида:

– при скользящем контакте

$$\sum_{j=1}^3 \left[T_{rj1} (K_n(k_{j1}R_1)) a_{nj} - T_{rj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+3} - T_{rj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+6} \right] = 0,$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[S_{rrj1} (K_n(k_{j1}R_1)) a_{nj} - \tau S_{rj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+3} - \tau S_{rj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+6} \right] = 0,$$

$$\sum_{j=1}^3 S_{r\eta j1} (K_n(k_{j1}R_1)) a_{nj} = 0,$$

$$\sum_{j=1}^3 S_{r\theta j1} (K_n(k_{j1}R_1)) a_{nj} = 0,$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[S_{r\eta j2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+3} + S_{r\eta j2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+6} \right] = 0, \tag{14, а}$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[S_{r\theta j2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+3} + S_{r\theta j2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+6} \right] = 0,$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[\tau S_{mj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_2)) a_{nj+3} + \tau S_{mj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_2)) a_{nj+6} \right] = P_{nm} / \mu_1;$$

– при жёстком контакте

$$\sum_{j=1}^3 \left[T_{mj1} (K_n(k_{j1}R_1)) a_{nj} - T_{mj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+3} - T_{mj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+6} \right] = 0,$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[S_{rmj1} (K_n(k_{j1}R_1)) a_{nj} - \tau S_{rmj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+3} - \tau S_{mj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_1)) a_{nj+6} \right] = 0, \tag{14, б}$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[\tau S_{mj2}^{(1)} (K_n(k_{j2}R_2)) a_{nj+3} + \tau S_{mj2}^{(2)} (I_n(k_{j2}R_2)) a_{nj+6} \right] = P_{nm} / \mu_1,$$

где $m = r, \theta, \eta$, $\tau = \mu_2 / \mu_1$.

Решение системы уравнений (14,а) или (14,б) находим известным методом, если соответствующий для каждого n определитель системы $\Delta n(\xi, c)$ отличен от нуля.

После определения коэффициентов a_{nj} ($J = 1, 2, \dots, 9$), компоненты напряжённо-деформированного состояния массива и оболочки при действии периодической бегущей нагрузки можно вычислить по формулам (12), (13).

Зная решение (12), (13) задачи для синусоидальной нагрузки (8), реакцию оболочки и окружающей её среды на движущуюся с постоянной скоростью аперидическую (локальную) нагрузку типа $P(\theta, \eta) = p(\theta)p(\eta)$ (характерного для транспортируемых объектов) получаем при помощи суперпозиции, используя представление нагрузки и компонент НДС оболочки

и массива в виде интегралов Фурье

$$P(\theta, \eta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P^*(\theta, \xi) e^{i\xi\eta} d\xi = p(\theta)p(\eta) = p(\theta) \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p^*(\xi) e^{i\xi\eta} d\xi,$$

$$P_m(\theta, \eta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P_m^*(\theta, \xi) e^{i\xi\eta} d\xi = p_m(\theta)p(\eta) = p_m(\theta) \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p^*(\xi) e^{i\xi\eta} d\xi, \quad (15)$$

$m = r, \theta, \eta;$

$$u_{lk}(r, \theta, \eta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} u_{lk}^*(r, \theta, \xi) p^*(\xi) d\xi,$$

$$\sigma_{lmk}(r, \theta, \eta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma_{lmk}^*(r, \theta, \xi) p^*(\xi) d\xi, \quad (16)$$

$l = r, \theta, \eta, \quad m = r, \theta, \eta, \quad k = 1, 2.$

Здесь $p^*(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\eta) e^{-i\xi\eta} d\eta.$

Для вычисления интегралов (16) можно использовать любой численный метод [2], если дозвуковая скорость движения нагрузки меньше её критических скоростей, значения которых определяются при исследовании определителей $\Delta n(\xi, c)$ разрешающей системы уравнений (14,а) или (14,б) (см. п. 3). Окончательное решение будет зависеть от конкретного вида движущейся нагрузки.

3. Дисперсионные кривые и критические скорости транспортной нагрузки. Приравнивая симметричные относительно n и ξ функции $\Delta n(\xi, c)$ к нулю можно получить численными методами дисперсионные кривые в плоскости (ξ, c) . Для фиксированного значения n координатам $\xi(n), c(n)$ любой точки кривой соответствует свободная волна, распространяющаяся вдоль оси оболочки. Форма этой волны зависит от числа n и удовлетворяет соответствующей однородной системе уравнений. Проведенные в [3] численные исследования $\Delta n(\xi, c)$ показали, что в зависимости от физико-механических и геометрических параметров задачи, для каждой n -моды может существовать дозвуковая, соответствующая минимуму построенной в плоскости (ξ, c) дисперсионной кривой критическая скорость $c = c_{(n)*}$, при которой в двух точках $\pm \xi_{(n)*}$ ($\xi_{(n)*} > 0$)

$$\Delta_n(\pm \xi_{(n)*}, c_{(n)*}) = 0, \quad \partial \Delta_n(\pm \xi_{(n)*}, c_{(n)*}) / \partial \xi = 0. \quad (19)$$

В этом случае стационарного решения задачи для данной моды не существует. Причём, минимальная критическая скорость, независимо от условия сопряжения оболочки со средой, имеет место при $n = 0$ [3]. Поэтому, если $0 < c < c_{(0)*}$, то $\Delta n(\xi, c) \neq 0$ для любых ξ и n , и для вычисления интегралов (16) можно воспользоваться численными методами.

При $c_{(n)*} < c < \min c_{sk}$ ($k = 1, 2$) для каждого n существуют четыре особые точки $\pm \xi_{(n)1}, \pm \xi_{(n)2}$ в которых

$$\Delta_n(\pm \xi_{(n)l}, c_{(n)}) = 0, \quad \partial \Delta_n(\pm \xi_{(n)l}, c_{(n)}) / \partial \xi \neq 0, \quad l = 1, 2. \quad (20)$$

В этих случаях решение существует, если ранг расширенной матрицы равен рангу матрицы системы уравнений для данной n -моды. Как показано в [3], при движении с такими сверхкритическими скоростями нагрузка генерирует позади себя свободные цилиндрические незатухающие вдоль оси оболочки гармонические волны частоты $\omega_{(n)l} = c \xi_{(n)l}$ и длины $\lambda_{(n)l} = 2\pi / \xi_{(n)l}$, движущиеся вдоль поверхности оболочки вслед за действующей нагрузкой с той же скоростью. Амплитуда этих волн не зависит от z и экспоненциально затухает при $r \rightarrow \infty$.

При $c = c_{(n)*}$ точки $\xi_{(n)1}$ и $\xi_{(n)2}$ сливаются в одну $\xi_{(n)*}$. Стационарного решения задачи в этом случае не существует. При таких скоростях в оболочке возникают резонансные явления, для изучения которых следует переходить к нестационарной постановке задачи.

Значение параметра задачи $c = c_{(n)*}$ можно характеризовать как точку бифуркации решения, при переходе через которую возникает неустойчивость движения. Этот факт может оказаться существенным для практики строительства подземных транспортных сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Новацкий, В.** Теория упругости. – М. : Мир, 1975. – 872 с.
- 2 **Крылов, В. И., Шульгина, Л. Т.** Справочная книга по численному интегрированию. – М. : Наука, 1966. – 370 с.
- 3 **Алексеева, Л. А., Украинец, В. Н.** Динамика упругого полупространства с подкрепленной цилиндрической полостью при подвижных нагрузках // Междун. науч. жур. «Прикладная механика». НАН Украины – Киев, 2009. – Т. 45. – № 9. – С. 75-85.

Материал поступил в редакцию 26.02.16.

Стационарлық көлік жүктемесінің қозғалысы кезіндегі терең салынатын динамикалық тоннельдердің математикалық моделі

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, павлодар қ.
Материал 26.02.16 баспаға түсті.

Mathematical model of dynamics of the deep embedding tunnels under the influence of stationary traffic loads

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 26.02.16.

Қабықша қабырғасы қалың доңгелек шексіз ұзындығына жүктеменің қозғалыстағы әрекетіне байланысты, серпінді кеңістікте орналасқаны туралы есептің шешуі пайдаланылды. Есеп шамасының моделі болып зерттеу динамикасының тоннельдерінде терең орналасуы стационарлық көлік жүктемесі қозғалысынан (тоннель ішіндегі тұрақты жылдамдықпен жылжитын көлік жүктемеден) болуы.

There was solved the object about the action of mobile loading on the endless long thick-walled circular cover located in elastic space. The problem is the model in the research of the dynamics of deep embedding tunnels under the action of stationary traffic (loads from moving with constant speed to a transport tunnel).

В. Ф. Хацевский¹, К. В. Хацевский², А. И. Антонов³

¹д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, Казахстан; ²д.т.н., профессор, Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия; ³ст. преподаватель, Омский институт водного транспорта – филиал Сибирского государственного университета водного транспорта, г. Омск, Россия

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассматривается порядок определения кондуктивных электромагнитных помех по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности с помощью программного продукта «Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности» в среде программирования Lab VIEW.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, гистограмма, осциллограмма напряжений, программный продукт, показатель качества электроэнергии.

ВВЕДЕНИЕ

Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013 характеризует несимметрию напряжений в трёхфазных трёхпроводных электрических сетях как уровень электромагнитной совместимости (ЭМС) для кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех (ЭМП) в системах электроснабжения общего пользования коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности в процентах [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Согласно [2] установлены следующие уровни ЭМС электрических сетей общего назначения для кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности: значения данного показателя качества электроэнергии (КЭ) в точке передачи электрической энергии, усреднённые в интервале 10 мин. не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала и 4 % в течении 100 % времени интервала в одну неделю. Уровень значений кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности, равный 2 % будем считать нормально допустимым, равный 4 % – предельно допустимым.

При этом вероятность возникновения кондуктивной ЭМП, нормируемого коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности можно представить следующей математической моделью:

$$P(\delta K_{2U}) = P(K_{2U(n)} < K_{2U} < K_{2U(n)}) + P(K_{2U(n)} \leq K_{2U} \leq \infty) - 0,05 \quad (1)$$

На основании этого предложен алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности, представленный на рисунке 1.

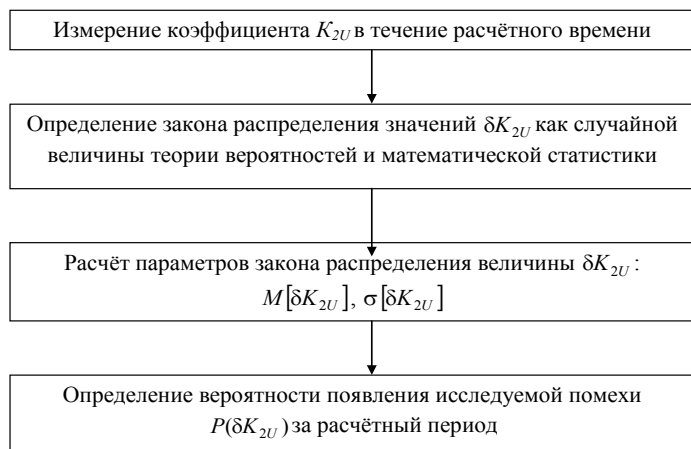


Рисунок 1 – Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи

Для исследования качества функционирования сети по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности проведено исследование на литейном участке промышленного предприятия.

Для проведения исследования использовался измерительно-вычислительный комплекс «Омск–М». Обработка результатов измерений производилась при помощи прикладываемого к комплексу программного обеспечения (программа Omsk–M) и программного продукта «Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности», благодаря которому рассчитаны параметры закона распределения исследуемой величины, а также определены вероятности появления кондуктивной электромагнитной помехи за расчетный период. Программный продукт разработан в среде разработки Lab VIEW [3].

Параметры распределения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности определены с помощью программного продукта и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры распределения значений коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

Параметры	Обозначение	Значение, %
Математическое ожидание	$M[K_{2U}]$	0,956
Среднее квадратичное отклонение	$\sigma[K_{2U}]$	0,939
Относительное значение времени превышения нормально допустимого значения коэффициента	T_1	18,890
Относительное значение времени превышения предельно допустимого значения коэффициента	T_2	0,000
Вероятность выхода за нормально допустимое значение	$K_{2U,н}$	18,890
Вероятность выхода за предельно допустимое значение	$K_{2U,п}$	0,000
Вероятность появления кондуктивной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности	$P(\delta K_{2U})=0,13$	$P(\delta K_{2U})=0,13$

Интерфейс программного продукта с полученными значениями представлен на рисунке 2.

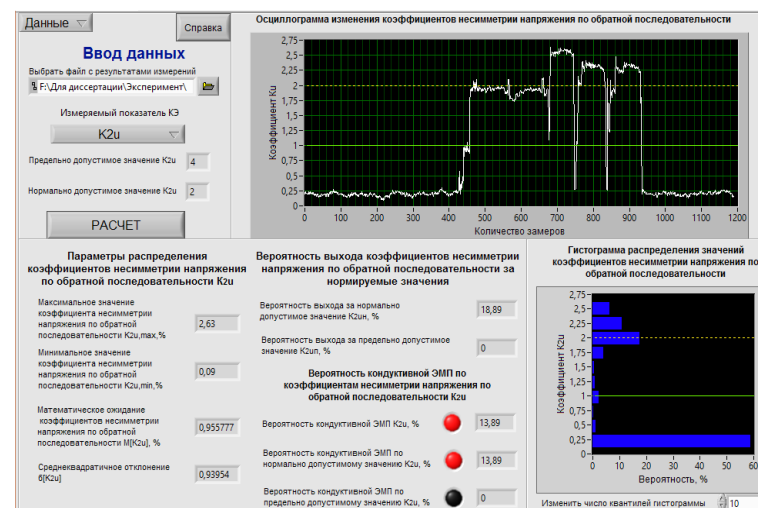


Рисунок 2 – Интерфейс программного продукта «Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности»

Чтобы в полной мере воспользоваться математическим аппаратом при обработке результатов эксперимента, исследователь должен определить закон распределения полученных величин.

Для определения кондуктивной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжению по обратной последовательности на рисунках 3 и 4 представлен график нормальной плотности вероятности $\varphi(K_{2U}; 0,9560, 0,939)$, совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС. Зная численные значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения получаем нормальную плотность вероятности распределения K_{2U} (1/ %), которая определяется равенством:

$$\varphi(K_{2U}; 0,956; 0,939) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 0,939}} \exp\left[-\frac{(K_{2U} - 0,956)^2}{2 \cdot 0,939^2}\right]; \quad (2)$$

$$\varphi(K_{2U}; 0,956; 0,939) = 0,42 \exp\left[-\frac{(K_{2U} - 0,956)^2}{1,76}\right]. \quad (3)$$

Вычисление этого определённого интеграла производится с помощью функции Лапласа. После выполненных расчётов, получается, что $P(2 < K_{2U} < 4) = 0,189$.



Рисунок 3 – График нормальной плотности вероятности распределения $\varphi(K_{2U} = \delta K_{2U}; 0,956; 0,939)$ совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС

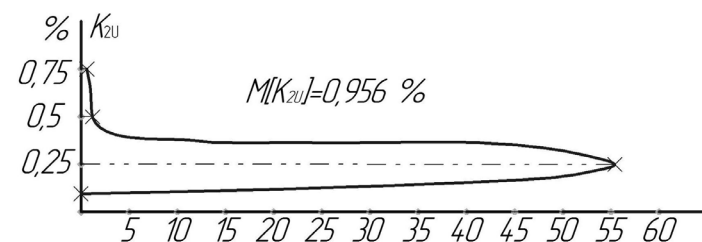


Рисунок 4 – График нормальной плотности вероятности распределения $\varphi(K_{2U} = \delta K_{2U}; 0,956; 0,939)$, совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС

Для расчёта кондуктивной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности на рисунке 2 представлен график нормальной плотности вероятности распределения, совмещенный с нормируемым уровнем. Из гистограммы распределения видно, что в течение расчетного времени действуют два закона вероятности распределения: закон распределения при работе литейных установок и закон распределения в течение времени, когда литейные установки отключены.

График на рисунке 3 построен по пяти достоверным точкам, являющимися центрами столбцов гистограммы:

- 1-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 1,5 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равна 0,8 %;
- 2-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 1,75 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 3,8 %;
- 3-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 2 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 16,5 % и является для данного графика максимальной;
- 4-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 2,25 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 10,4 %;
- 5-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 2,5 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 6,2 %.

Из данного графика видно, что часть области нормальной плотности вероятности распределения находится за пределами нормально допустимого значения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности.

График на рисунке 4 построен по трем достоверным точкам:

- 1-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 0,25 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 55,4 % и является для данного графика максимальной;

2-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 0,5 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 1,2 %;

3-я точка – значение коэффициента K_{2U} равно 0,75 %, вероятность попадания в область значения этого коэффициента равно 0,6 %.

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

С помощью программного продукта обработаны результаты экспериментального исследования кондуктивной низкочастотной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности и получены его параметры распределения;

Качество функционирования исследуемой сети по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности характеризуется кондуктивной ЭМП, которая представляется с вероятностью 0,95 математическим ожиданием $M[\delta K_{2U}] = 0,956\%$ и средним квадратическим отклонением $\sigma[\delta K_{2U}] = 0,939\%$;

Вероятность появления кондуктивной ЭМП (0,1389) превышает допустимую вероятность превышения коэффициентом K_{2U} нормально допустимого значения (0,05) в 2,778 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Данилов, Г. А.** Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников; под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. – Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. – 559 с.

2 ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.

3 **Зубанов, Д. А.** Обработка результатов экспериментальных исследований показателей качества электрической энергии средствами программы labVieW [Текст] / Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин, А. А. Сидоренко и др. // Сборник научных трудов ОИВТ. – 2012. – №10. – С. 118-122.

4 **Антонов, А. И.** Порядок обработки результатов экспериментальных исследований на соответствие отклонения напряжения требованиям ГОСТ 32144-2013/ А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, А. А. Руппель // Омский научный вестник – 2015. – № 2 (140). – С. 163-166.

5 **Антонов, А. И.** Анализ определения кондуктивной низкочастотной помехи по коэффициенту несинусоидальности кривой напряжения/ А. И. Антонов, М. Г. Вишнягов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин, А. А. Руппель, А. А. Сидоренко// Омский научный вестник – 2015. – № 3 (143). – С. 244-248

Материал поступил в редакцию 15.02.16.

В. Ф. Хацевский¹, К. В. Хацевский², А. И. Антонов³

Электр қуатының сапа көрсеткіштерінің өлшеулерінің эксперименталді деректерін өңдеу әдістемесі

¹С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан;

²Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей;

³Омбы су көлігі институты, Омбы қ., Ресей.

Материал 15.02.16 баспаға түсті.

V. Khatsevskiy¹, K. Khatsevskiy², A. Antonov³

Methods of analysis of experimental data of electric energy quality measurements

¹S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan;

²Omsk State Technical University, Omsk, Russian;

³Omsk institute of water transport, Omsk, Russian.

Material received on 15.02.16.

Lab VIEW бағдарламалау ортасында «Кері тізбек бойымен кернеудің симметрия емес еселік бойымен электр қуатының сапа көрсеткіштерінің эксперименталді деректерін өңдеу» бағдарламалық өнімнің көмегімен кері тізбегі бойымен кернеудің симметрия емес еселік бойымен кондуктивтық электромагниттік бөгелудерін анықтау.

The order of definition of conductive electromagnetic hindrances on coefficient of asymmetry of tension on the return sequence by means of the «Processing of experimental data of indicators of quality of electric energy on coefficient of asymmetry of tension on the return sequence» software product in the programming environment of Lab VIEW is considered.

В. Ф. Хацевский¹, К. В. Хацевский²

¹д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан; ²д.т.н., профессор, Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия
e-mail: xvf5@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ИНДУКЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАГРЕВА И ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТЕЙ

Рассматривается новый тип индукционных установок для нагрева и электрофизической обработки полупроводниковых жидкостей с ионной электропроводностью в электромагнитных полях.

Ключевые слова: индукционный нагрев, электрофизическая обработка жидкостей, магнитные поля, технологические процессы.

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени различные индукционные нагреватели жидкостей создавались и, следовательно, оптимизировались по конструктивному исполнению и рабочим режимам для решения конкретной задачи – повышение теплосодержания для последующего использования нагретых жидкостей в технике. В промышленности работают такого типа установки отечественного и зарубежного исполнения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследование и разработка методов расчета индукционных систем нагрева жидкостей позволили создать электротехнологические установки принципиально нового типа, в которых с использованием электромагнитных полей за счет интенсификации электродиффузии и термодиффузии в десятки и сотни раз увеличиваются скорости протекания различных химических реакций. Это позволяет реализовать новые электротехнологические процессы: переработка жидких отходов, опреснение морской воды, снижение жесткости воды и т.д.

Рассматриваемая электротехнологическая система состоит из первичной обмотки (индуктора), внутри которой находится магнитопровод, а с наружной стороны индуктор окружен традиционными электромагнитными экранами, которые обеспечивают преобразование электрической энергии в тепловую. Между экранами организован проток обрабатываемой жидкости. На рисунке 1 приведена схема индукционной установки для нагрева и

электрофизической обработки жидкостей. Имея формальное внешнее сходство с трансформатором, рассматриваемая индукционная установка существенно отличается протекающими электромагнитными процессами и особенностями согласования параметров индуктора и вторичной цепи. В трансформаторе первичные и вторичные обмотки располагаются близко для того, чтобы обеспечить хорошую индуктивную связь между ними. В новых устройствах индуктор специально удален от вторичной обмотки на оптимальное расстояние.

Вторичная обмотка выполняется в виде коаксиальных цилиндров. Вследствие этого большие поля рассеяния оказывают влияние на электромагнитные параметры системы. Здесь же необходимо отметить отличие рассматриваемой схемы от систем нагрева индукционных канальных печей.

Имея много общего с канальной электропечью, новая индукционная установка имеет вторичную цепь, создаваемую несколькими экранами – цилиндрами.

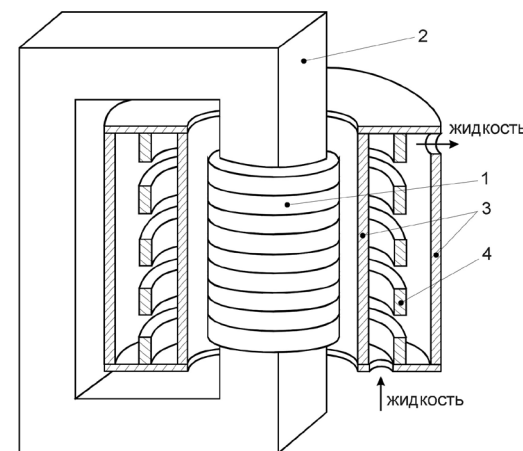


Рисунок 1 – Конструктивная схема новой индукционной системы для нагрева и обработки жидкостей: 1 – индуктор, 2 – магнитопровод, 3, 4 – короткозамкнутые цилиндры и кольца

При этом средний цилиндр может выполняться из короткозамкнутых колец произвольной формы для создания электромагнитного поля с оптимальными параметрами для электрофизической обработки жидкостей. Электрически кольца могут быть изолированными, соединенными последовательно (винтовое выполнение расщепленного цилиндра) или противоположным направлением токов в соседних кольцах. Использование

эффекта близости токонесущих колец позволяет вводить дополнительный управляющий фактор за счет оптимизации отклонений от осесимметричности полей. Относительно магнитного потока кольца расщепленного цилиндра оказываются расположенными последовательно, а относительно индуктора – параллельно. Различные варианты конструктивного исполнения цилиндров позволяют оптимизировать процессы взаимодействия движущейся жидкости с электромагнитным полем, в том числе за счет действия электродинамических сил с одновременным нагревом жидкости за счет кондуктивно-конвекционного теплообмена с нагреваемыми кольцами и цилиндрами.

Короткозамкнутые цилиндры, связанные общим магнитным потоком, формализуются как параллельно включенные сопротивления, образующие слоистую систему нагрева. При создании эффективных конструкций для нагрева и обработки жидкостей в электромагнитных полях необходимо принимать толщину цилиндров (колец) меньше глубины проникновения тока в материал цилиндра. В этом случае в процессе преобразования электрической энергии в тепловую и механическую будут участвовать все цилиндры (кольца), установленные вокруг индуктора. В процессе проведения излагаемых исследований было показано, что даже при установке пяти коаксиальных цилиндров тепловыделение в наружном цилиндре наблюдается и составляет более 10% от вводимой мощности. Кроме этого, выявлено новое свойство таких индукционных систем: максимальное выделение энергии наблюдается в цилиндре, для которого отношение толщины цилиндра к глубине проникновения Δ/Δ_{Σ} максимально. Из этого следует, что в индукционной системе, состоящей, например, из трех цилиндров одинаковой толщины, но изготовленных из разных немагнитных материалов (сталь-медь-сталь), максимальная мощность будет выделяться (до 80%) в медном цилиндре, т.к. $\Delta_{Cu} < \Delta_{Fe}$. Это свойство рассматриваемой электромагнитной системы с одновременным расщеплением среднего цилиндра на отдельные короткозамкнутые кольца произвольной конфигурации позволяют создать в рабочем пространстве градиентное интенсивное магнитное поле для электрофизической и электродинамической обработки движущейся жидкости.

При строгом подходе процессы взаимодействия движущейся жидкости с электромагнитным полем с учетом развитой термодиффузии будут иметь трехмерный характер с многопараметрическими зависимостями.

Конструкция рассматриваемого устройства имеет особенности, которые позволяют принять ряд допущений, дающих возможность аналитически решить задачу расчета поля в рабочем объеме с получением интегральных параметров. Примем, что толщина концентрических слоев a_i значительно меньше, чем высота h_i этих слоев, а расстояния между кольцами φ_k также значительно меньше высоты колец a_k . При таких соотношениях можно считать, что в каждом слое (проводящем ($\varepsilon = 0$) и полупроводниковом

($\gamma \neq 0, \varepsilon \neq 0$)) существует одномерное синусоидальное электромагнитное поле, возбуждаемое магнитным потоком сердечника магнитопровода.

ВЫВОДЫ

В этой статье показано, что локальные отличия от одномерного характера поля будут влиять на краевые реактивные сопротивления цилиндров и на распределение плотности тока по сечению колец. Эти особенности будут учитываться в последующем путем введения дополнительных уточнений в расчет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Инкин, А. И.** Расчет индукционных систем нагрева трансформаторного типа / А. И. Инкин, В. С. Чередниченко, К. В. Хацевский, С. Ю. Ивликов. – Электротехника. – 2000. – № 11. – С. 34-37.

2 **Хацевский, К. В.** Электронагрев жидкостей и газов в индукционных установках с коаксиальными цилиндрами. – Павлодар : ЭКО, 2002. – 120 с.

3 **Хацевский, К. В.** Энергоэффективные технологии электро-нагрева жидкостей и газов : монография / К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.

Материал поступил в редакцию 15.02.16.

В. Ф. Хацевский¹, К. В. Хацевский²

Сұйықтықты оңдеу және қыздыруға арналған заманауи индукциялық қондырғылар

¹С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ., Қазақстан;

²Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей.

Материал 15.02.16 баспаға түсті.

V. Khatsevskiy¹, K. Khatsevskiy²

Modern induction installations for heating and processing of liquids

¹S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Kazakhstan;

²Omsk State Technical University, Omsk, Russia.

Material received on 15.02.16.

Электромагнитті шеңбердегі ионды электр өткізгіштікпен жартылай өткізгішті сұйықтықты электрофизикалық оңдеу және қыздыруға арналған жаңа типті индукциялық қондырғылар қарастырылады.

There is considered the new type of inductive device for heat and electrophysical processing of fluids with ionic electroconductance in electromagnetic fields.

ӘОЖ 53.082.743

Ф. Ә. Шукенова¹, З. Қ. Абдикулова²

¹аға оқытушы, ²техн.ғ.к., доцент, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.
e-mail: ¹gshukenova@list; ²Azagipa@mail.ru

3D МАХ ПРОГРАММАЛЫҚ КОМПЛЕКСТІ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ КҮШТІК ТРАНСФОРМАТОРЛАРДЫ ЕСЕПТЕУ ЖӘНЕ ЖИНАУ

Ғылыми мақалада трансформаторлардың жинау алды есеп процедурасының бейнелік мәліметтері қарастырылды және есептеудің реттілік алгоритмдары 3D кеңістігінде қарастырылып, ұсынылған алгоритмнің дәлдігі көрсетілді.

Жобаланған есептеу процедурасы алдыменен есептелініп, содан соң 3D Max программасында комплекс арқылы бейнелі түрде түсіндірілді.

Кілтті сөздер: күштік трансформаторлар, 3D Max программалық комплекс, трансформатор орамалары, трансформаторлардың негізгі параметрлері

КІРІСПЕ

Блокты электр станцияларының көптеген жоғары кернеулері бар. Мысалы: 110 және 220 кВ; 110, 220 және 500 кВ; 110 және 330 кВ және т.б. Өртүрлі кернеу тораптарының арасында байланыс болуы керек, өйткені қуаттың алмастырмалы ағыны бар.

Электрлік қосылу станциясының бірнеше жоғары кернеуде беретін қуатының бас сұлбасын таңдауда екі жоғары кернеулер тораптарының арасында агрегаттарды оңтайлы тарату және олардың арасындағы байланыс құрылғысының әдісі негізгі сұрақтары болып табылады.

Байланыс үшін ереже бойынша трансформаторларды қолданады [1].

Трансформаторлардың негізгі параметрлері мыналар: номиналь қуаты, орамалардың номиналь кернеуі, номиналды ток, қысқа тұйықталу кернеуі, орамаларды қосу түрі және сұлбасы.

Күштік трансформатордың қуаты төмендегі формуламен анықталады :

$$S_{ном} = \sqrt{3} \cdot U_{ном.тр} \cdot I_{ном.тр}$$

Трансформатор ұзақ уақыт жұмыс істеу үшін мынадай талаптар орындалуы керек [2]:

$$S_{жүк} = S_{ном.тр}; U_{торап} = U_{ном.тр}; \sigma_0 = \sigma_{0.ном}$$

мұндағы, $S_{жүк}$ – трансформатордың жүктемесі

$S_{ном.тр}$ – трансформатордың номиналь қуаты

$U_{торап}$ – трансформатор іске қосылатын электр торабының номиналь кернеуі

σ_0 – салқындатқыш ортаның нақты температурасы

$\sigma_{0.ном}$ – салқындатқыш ортаның есептелінген номиналь температурасы.

Өндірісте трансформаторларды пайдаланғанда жоғарыда көрсетілген талаптар көбінесе орындалмайды. Жүктемелер артық немесе аз болуы мүмкін. Сондықтан, трансформаторларды таңдағанда олардың рұқсат етілетін жүктемемен жұмыс істеуін ескеру керек.

Трансформаторлардың жүктемелері бір тәулікте бірнеше рет өзгереді. Егерде трансформатордың қуатын ең көп жүктемеге сәйкес таңдап алсақ, онда ол трансформатордың қуаты жүктеме азайған уақытта толық пайдаланылмайды. Сондықтан, трансформаторды жобалағанда, оның номиналь қуатын, орамалардың номиналь кернеуін, жүктелу қабілеттілігін, бастапқы жүктемесін, рұқсат етілетін апаттық жүктемесін ескеру керек.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Трансформаторларды есептеу және жинау үшін 3D МАХ программалық комплексті пайдаланамыз [3].

Программаның бірінші қадамы. Әр орамадан тұтынатын қуаттар суммасы ретінде қарастырылатын суммарлы қуатты $P_{сум.}$ анықтау:

$$P_{сум.} = U_1 I_1 + U_2 I_2 + \dots + U_n I_n$$

мұндағы: $U_1 I_1, U_2 I_2$ және т.б. – екінші орамадағы тоқтар мен кернеулердің көбейтіндісі.

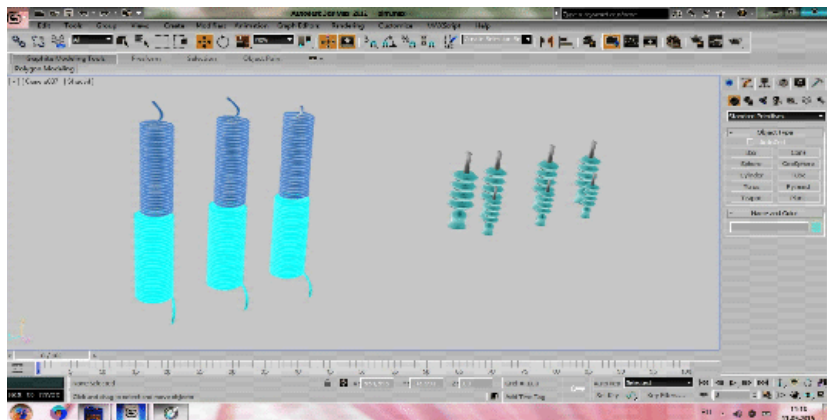
Программаның екінші қадамы. Трансформатордың габаритті қуатын P_1 анықтау:

$$P_1 = \frac{P_{сум.}}{ПӘК}$$

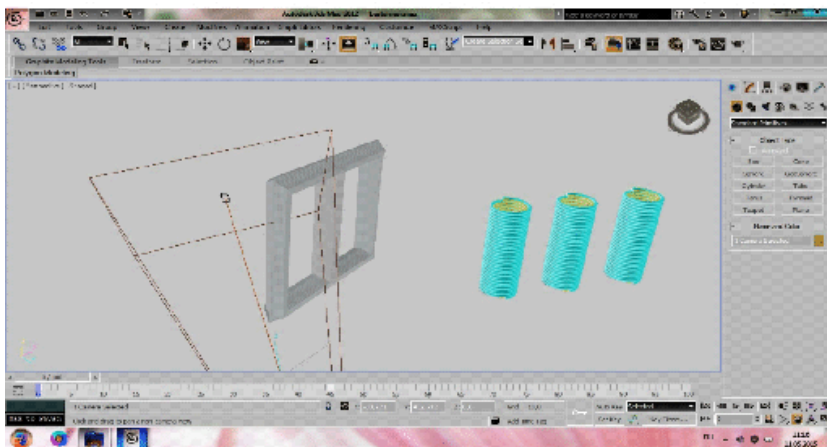
Трансформатордың ПӘК 1-ші кесте бойынша анықтаймыз.

Кесте 1 – Трансформаторлардың ПӘК-і

Суммарлы қуат, Вт	10-20	20-40	40-100	100-300
Трансформатордың ПӘК	0,8	0,85	0,88	0,92



Сурет 1 – Күштік трансформатордың кіріс және шығыс сызықтық кернеулерін бактен оқшаулау мақсатында қолданылатын фарфорлы оқшауламалар мен ЖК және ТК орамаларының көрінісі



Сурет 2 – Магнит өзекшесінің көрінісі

Программаның үшінші қадамы. Катушка өзекшесінің, жұмыс өзекшесінің қимасын S анықтау [4]:

$$S = 1,2 \cdot \sqrt{P_1}$$

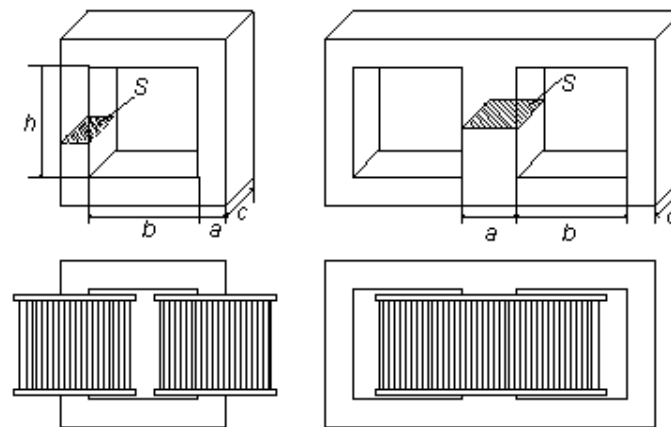
мұндағы, S – қимасы, $см^2$, P_1 – трансформатордың габаритті қуаты, Вт

Магнит өзекшесіне осы 3D Max программасында камера түсіп тұр. Сол камера арқылы оның 3D кеңістігіндегі көрінісін жақсартамыз.

Программаның төртінші қадамы. Катушка өзекшесінің жұмыс өзекшесінің енін a анықтау:

$$a = 0,8 \cdot \sqrt{S}$$

Программаның бесінші қадамы. Өзекше формасын таңдау. катушка өзекшесінің a (см) табылған ені бойынша өзекшелерді таңдау.



Сурет 3 - Трансформатордағы өзекшесі формасының көп тараған түрі мен орамалардың өзекшеде орналасуы

ТК стержінге жақын ал ЖК ТК-ден соң орнатылады.

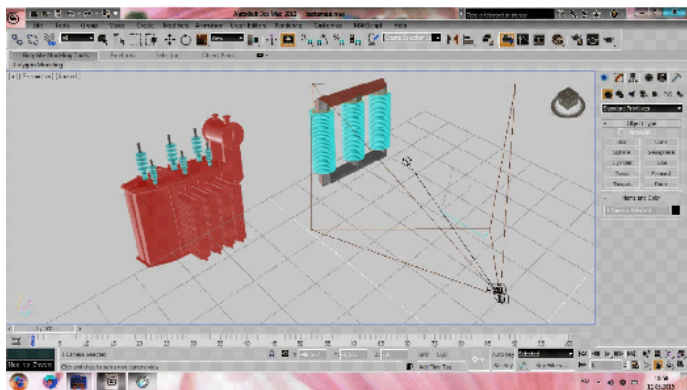
Программаның алтыншы қадамы. Пакет қалыңдығын c , (см) анықтау:

$$c = \frac{S}{a}$$

Программаның жетінші қадамы. Кернеудің 1 вольт мәніне сәйкес келетін орамдар санын n анықтау:

$$n = \frac{k}{S}$$

Коэффициент k жалпы 35÷60 аралығында болады. Ол болат өзекшесінің пластинасы құрамына тәуелді.

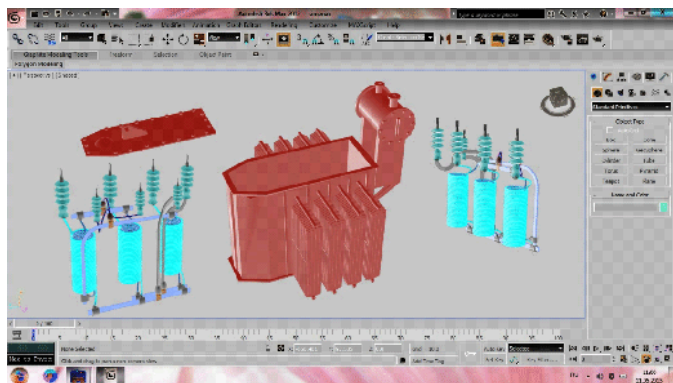


Сурет 4 – Магнит өзекшесінің стержініне ТК және ЖК орамаларының орналасу көрінісі

0,35 мм қалыңдықтағы болат үшін:

- жіңішке болаттан түзілген С – түріндегі формадағы өзекше $k=35$;
- бұрышы бойынша тесігі жоқ П – или Г – түріндегі пластиналардан жиналған О – түріндегі формадағы өзекшелер үшін $k=40$;
- тесігі жоқ Ш – түріндегі формадағы пластиналар үшін $k=45$;
- тесігі бар Ш – түріндегі формадағы пластиналар үшін $k=50$;
- тесігі бар Ш – түріндегі формадағы 0,35 мм қалыңдықтағы пластиналар үшін $k=60$.

Коэффициент k өзгертуге болады, бірақ ескеру керек, k кішірейту ораманы жеңілдетеді, бірақ трансформатор жұмысын ауырлатады.



Сурет 5 – Күштік трансформатор багі мен орамаларының жалғану сұлбасының көрінісі

Жоғары қорытпа болаттан жасалған пластинаны қолдану арқылы осы коэффициентті азайтуға болады, ал төменгі қорытпа болаттан жасалған пластинаны қолдану арқылы осы коэффициентті арттыруға болады.

Программаның сегізінші қадамы. Бірінші ораманың орамдар санын анықтау W :

$$W = U \cdot n$$

Программаның тоғызыншы қадамы. Екінші ораманың орамдар санын анықтау [5].

Бұл үшін орамадағы кернеудің құлауын қарастыратын қосымша коэффициент m енгіземіз:

$$W = m \cdot U \cdot n$$

Коэффициент m орама арқылы өтетін ток күшіне тәуелді.

Кесте 2 – m коэффициентінің ток күшіне тәуелділігі

Екінші орамасының ток күші, А	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0
Коэффициент m	1,02	1,03	1,04	1,06

Программаның оныншы қадамы. Екінші ораманың өткізгіштерінің диаметрін d анықтау:

$$d = p \cdot \sqrt{I}$$

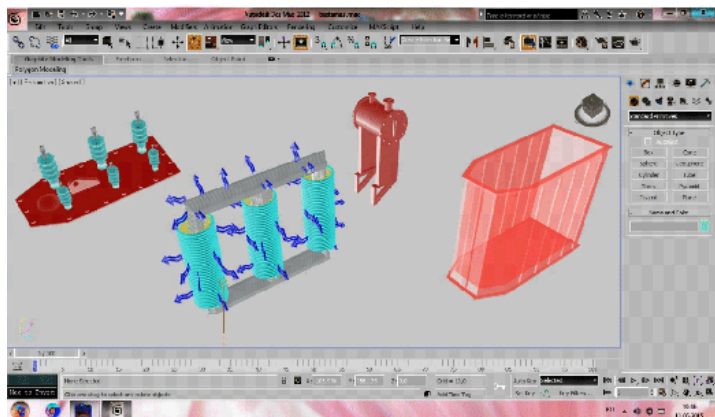
мұндағы: d – мыс өткізгішінің диаметрі, мм;

I – орамадағы ток күші, А;

p – өткізгіштің маркасына байланысты болатын қызу шамасы деңгейін есептейтін коэффициент.

Кесте 3 – Өткізгіштер маркасына тәуелді p коэффициенті

Өткізгіш маркасы	ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭТ
p	0,8	0,72	0,69	0,65

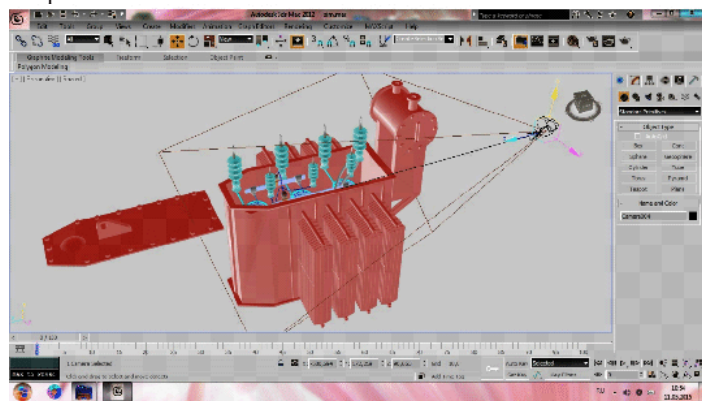


Сурет 6 – Күштік трансформатордың комплектациясы. Күштік трансформатордың жұмыс кезіндегі орамалар мен магнит өзекшесінің қызуынан пайда болатын жылу шығынының трансформатор майы арқылы ауаға берілу көрінісі

Программаның он бірінші қадамы. Бірінші орамадағы ток күшін I анықтау [6]:

$$I = \frac{P_i}{U}$$

Екінші ораманың өткізгіштерінің диаметрін анықтағаннан кейін мыс бойынша стандартты үлкен мәніне жақын өткізгіштер диаметрлері, ал оқшауламада өткізгіштер диаметрі 4 кестедегі мыс өткізгіштері диаметрінен 10 % жоғары.



Сурет 7 – Күштік трансформаторының толық жиналғандағы бейнесі

Кесте 4 – Екінші орама өткізгіштері үшін келтірілген орамдардың сипаттамасы

Орама	Орамдар саны, W	Мыс бойынша өткізгіштердің диаметрі d , мм	О қ ш а у л а м а с ы бойынша өткізгіштің диаметрі, мм
I (бірінші)	1680	0,24	0,25
1	50	0,9	0,99
2	94	0,41	0,45
3	917	0,18	0,2

ҚОРЫТЫНДЫ

Электр станциялардың тарату құрылғысына, электр жабдықтарына сенімділік жұмысына байланысты жоғарғы талаптар қойылады.

Электр қондырғылар қалыпты режимде, сондай-ақ одан ауып кету жағдайларында да сенімді жұмыс істеуі керек. Электр қондырғыларын жобалау кезінде барлық аппараттар және ток өткізгіш бөліктер қалыпты режимде ұзақ жұмыс шарттары бойынша таңдалады және қысқа тұйықталу кезінде жұмыс шарттары бойынша тексеріледі.

Сондықтан, электрлік қондырғылардың аппараттарын және ток өткізгіш бөліктерін жобалағанда, олардың параметрлерін ескеріп, міндетті түрде оларды таңдау және тексеру талаптары орындалуы керек.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Китаев, В. Е.** Трансформаторы. Изд. 5-е перераб. Учеб. Пособие для профессионально-технических учебных заведений и подготовки рабочих на производстве. – М. : «Высшая школа», 1992. – 208 с.

2 **Тихомиров, П. М.** Расчет трансформаторов [Текст] : уч. пособие для вузов / Павел Михайлович Тихомиров. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 528 с. : ил. – библиогр.: с. 518. – предм. указ.: С. 519-524.

3 **Бондаренко, С. В., Бондаренко, М. Ю.** Программирование на языке Delphi в MVS. – 2010.

4 Standard Handbook for Electrical Engineers (8th ed.). McGraw-Hill. – P. 597, Fig. 6-42.

5 «The Ideal Transformer». IRE Transactions on Circuit.Theory 5 (2): 145–145. doi:10.1109/TCT.1958.1086447.

6 **Попов, Д. А., Руднев, В. Н.** Электрические машины. – Задание на курсовой проект. – Изд-во ВЗИИТа. – М., 1987. – 2, 5 п.л.

7 **Петрова, С. С.** Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. пособие. – Л. : ЛПИ, 1989. – 76 с.

8 **Рожкова, Л. Д., Козулин, В. С.** Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. –3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. –648 с.

Материал 29.02.16 баспаға түсті.

Г. А. Шукенова, З. К. Абдикулова

Расчет и сборка силовых трансформаторов с использованием программного комплекса 3D MAX

Международный казахско-турецкий университет имени Х. А. Ясави, г. Туркестан.
Материал поступил в редакцию 29.02.16.

G. A. Shukenova, Z. K. Abdikulova

Calculation and installation of power transformers using 3D MAX software package

A. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.
Material received on 29.02.16.

В научной статье рассмотрены визуальные данные сложных расчетных процедур для конструкционной сборки силовых трансформаторов и порядковые алгоритмы расчета рассматривались в пространстве 3D доказывая точность расчетов.

Проектируемая расчетная процедура сначала рассчитана, после чего она представлена в вербальном виде с использованием программного комплекса 3D Max.

In the scientific work there are shown verbal accesses of complexity calculation procedures for power transformers construction, then an algorithmic method was taken related to the procedures. The algorithmic method was demonstrated in 3D space, which proved accuracy of calculations.

Calculated procedure at the beginning of the work was calculated, then presented through verbal view.

ЭОЖ 681.513.6:004

А. С. Айнаәулова¹, А. Е. Темірғалиева²

¹т.ғ.к., доцент, ²PhD докторант, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ.

e-mail: ainur.temirgaliyeva@gmail.com

БАСҚАРУ НЫШАНЫ – ЖЫЛУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ ОРНАТЫЛҒАН ҒИМАРАТТЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖОБАСЫН ҚҰРУ

Мақалада энергияның сақталу заңына сәйкес ғимарат ішіндегі құрылғыдан бөлінетін жылууды, жылу шығынын, ғимарат ішіндегі жылу көлемінің өзгерісін сипаттайтын шамалар көмегімен математикалық жоба құрылады. Барлық шамаларға жеке-жеке сипаттаулар жасалып, бастапқы математикалық жоба негізгі параметрлер арқылы сызықсыз тәуелділіктегі дифференциальдық теңдеулерге түрлендіріледі және линеаризацияланады.

Кілтті сөздер: жылу беру коэффициенті, температураның қатты ағымдығы, кіріс температура, ауа температурасы.

Ғимарат ішіндегі ауа температурасының дифференциальдық теңдеуін тұрғызылуын мысал ретінде қарастырып, қабырғадан өтетін жылу шығынын және жылыту құрылғысынан бөлінетін жылуды ескеру қажет. Мұндай басқару нышаны - жылу жүйесінің бөлшегі болып табылады. Ғимарат ішіне барлық жылу жылыту құрылғысынан бөлінеді деп есептейік (басқа іштен және құбырлардан бөлінетін жылу ескерілмейді). Құрылғы арқылы бөлінетін жылу ғимарат ішінде ауаны жылыту және сыртқы ортамен жылу алмасу кезінде кететін шығынды реттеу үшін жұмсалады [1]. Энергияның сақталу заңына сәйкес мына түрде теңдеу тұрғызылады:

$$Q_{к.ж} - Q_{ж.ш} - \frac{dQ_{ж.ш}}{dt} = 0, \quad (1)$$

мұндағы $Q_{к.ж}$ – құрылғыдан бөлінетін жылу;

$Q_{ж.ш}$ – жылу шығыны; $\frac{dQ_{ж.ш}}{dt}$ – уақыт бірлігіндегі ғимарат ішіндегі жылу өзгерісі.

Су жылуының ағыны ғимарат ішіне жылу құрылғысының қабырғасынан конвекция, жылуөткізгіштік және радиация құбылыстары арқылы беріледі. Оның шамасы былай сипатталады:

$$Q_{к.ж} = k_{к.ж} \Delta t_{ор} F_{к.ж\ сьрт} \quad (2)$$

мұндағы $k_{к.ш}$ – жылыту құрылғы қабырғасының сыртқы бетіндегі жылу ағынының үстіңгі тығыздығын сипаттаушы параметр, яғни Δt_{op} – қабырғадан бөлінген жылутасымалдағыш және ауаның орташа айырмалық температурасына қатысты жылу құрылғысының жылу беру коэффициенті, $Bm / m^2 \cdot ^\circ C$ өлшемімен өлшенеді. Жылу құрылғысының жылу беру коэффициенті соңғы құрылымнан, сонымен қатар, температуралық қатты ағым шамасына тәуелді; $F_{к.ш}$ – жылу құрылғысының сыртқы бетінің ауданы.

Жылутасымалдау және ауаның Δt_{op} температураның орташа айырмасын температураның қатты ағымдығы деп атайды және төмендегідей сипатталады:

$$\Delta t_{op} = t_{ж} - t_a = \frac{t_{к.к} + t_{ш.к}}{2} - t_a \quad (3)$$

мұндағы $t_{ж}$ - жылу құрылғысының кірісіндегі $t_{к.к}$ және оның шығысындағы $t_{ш.к}$ жылутасымалдау температурасының қосындысының жартысына тең жылутасымалдау температурасы.

Температуралық қатты ағымға тәуелділікті k_k былай сипаттауға болады:

$$k_k = m \Delta t_{op}^n \bar{G}^p, \quad (4)$$

мұндағы m , n және p – жылыту құрылғыларының тәжірибелік мүмкіндіктердің қорытындысы бойынша анықталған сандық коэффициенттер. Олардың шамасын қосымша әдебиеттерден білуге болады; \bar{G} - жылу құрылғысындағы судың массалық қатыстық шығыны анық массалық шығынын ағымдағы уақыттағы номиналь шығынына қатынасына тең [2]. Мұндай шығын мәні 360 кг/ч . Онда жылу құрылғысының жылу шығыны үшін G_k қатыстық шығыны $\bar{G} = \frac{G_k}{360}$.

(2) мәнін (4) мәніне қойып, жылу құрылғысы арқылы берілетін жылуды сипаттайтын келесі түрдегі теңдеуді аламыз:

$$Q_{к.ж} = m \left(\frac{t_{к.к} + t_{ш.к}}{2} - t_a \right)^{n+1} \left(\frac{G_k}{360} \right)^p F_{к.ж.сырт}. \quad (5)$$

Жылу шығыны сыртқы ортамен бөлуші қабырға арқылы жылуалмасу мен ғимарат ішіндегі t_u және сыртындағы t_c температура түсуіне пропорционал деп есептейік:

$$Q_{ж.ш} = \alpha F_{зшм} (t_u - t_c), \quad (6)$$

мұндағы α – жылу беру коэффициенті, $(Bm / m^2 \cdot ^\circ C)$; F_a – сыртқы ортамен жылу алмасу жүзеге асатын ғимарат ішіндегі қоршау үстінің ауданы, i^2 .

Уақыт бірлігінде t_a ауа температурасының өзгерісі арқылы ғимарат ішіндегі жылу өзгерісі төмендегідей сипатталады:

$$\frac{dQ}{d\tau} = V \rho_a c_a \frac{dt_a}{d\tau} \quad (7)$$

мұндағы V - ғимарат ішіндегі ауа көлемі, i^3 ; ρ_a – ауа тығыздығы; c_a – жылу сыйымдылығы, $DЖ / (кгК)$.

(2) - (7) қатынастарын (1) теңдеуіне қойып, орнатылған жылу құрылғысы бар ғимарат – басқару нышаны (БН) сипатталатын дифференциальдық теңдеу алынады:

$$f_1 \left(t_{к.к}, t_{ш.к}, t_c, t_a, \frac{dt_a}{d\tau} \right) = m \left(\frac{t_{к.к} + t_{ш.к}}{2} - t_a \right)^{n+1} \left(\frac{G_k}{360} \right)^p F_{к.ж.сырт} - \alpha F_{зшм} (t_u - t_c) - V \rho_a c_a \frac{dt_a}{d\tau} = 0 \quad (8)$$

Алынған теңдеудегі t_a БН шығыс мәні ретінде қарастырсақ, онда ол айнымалылар және мәндер қатарына тәуелді болады, соның ішінде, сызықсыз тәуелділікте болады [3]. Сызықсыз вектор-функция $F(1)$ жалпы сипатталуда жалғыз элемент, яғни f_1 скаляр функциясы (8) туындайды.

f_1 линеаризациялау кезінде сапалы басқару болып саналсын, яғни G_k шамасын реттеу үрдісінде өзгеріссіз қалдырылсын және жылу құрылғысының кірісіндегі жылу тасымалдағыш кіріс температурасының мәні реттелсін. Орнықтылық режимде (8) теңдеуіне кіретін кейбір айнымалылар мәндері $t_{к.к}^0, t_{ш.к}^0, t_c^0, t_a^0$ болып анықталсын [4-5]. (8) мәнін линеаризацияланған түрі орнықты мәндерге қатысты айнымалылар өсімі келесі түрде сипатталады:

$$f_1(\Delta t_{к.к}, \Delta t_{ш.к}, \Delta t_c, \Delta t_a, \Delta t_a^{(1)}) = \frac{m}{2} (n+1) \left(\frac{G_k}{360} \right)^p F_{к.ж.сырт} \left(\frac{t_{к.к}^0 + t_{ш.к}^0}{2} - t_a^0 \right)^n \Delta t_{к.к} + \frac{m}{2} (n+1) \left(\frac{G_k}{360} \right)^p F_{к.ж.сырт} \left(\frac{t_{к.к}^0 + t_{ш.к}^0}{2} - t_a^0 \right)^n \Delta t_{ш.к} + - m(n+1) \left(\frac{G_k}{360} \right)^p F_{к.ж.сырт} \left(\frac{t_{к.к}^0 + t_{ш.к}^0}{2} - t_a^0 \right)^n \Delta t_a + \alpha F_{зшм} \Delta t_c - \alpha F_{зшм} \Delta t_a - V \rho_a c_a \frac{dt_a}{d\tau} = 0 \quad (9)$$

Егер БН параметрлері стационар режим нүктесінде белгілі болса, айнымалылар мәні $\Delta t_{к.к}$, $\Delta t_{ш.к}$ және Δt_c ; (9) теңдеуі ғимарат ішіндегі ауа температурасы өсімінің Δt_a мәнін анықтауға мүмкіндік береді. $\Delta t_{к.к}$ және $\Delta t_{ш.к}$ шамаларын басқару әсері ретінде қарастыруға болады, олар сапалы реттеу кезінде жылудың температуралық сызбасына сәйкес өзгереді. Δt_c сыртқы ортадан әсер ететін кері әсер болып табылады.

Келесі айнымалыларды енгізейік :

$$\Delta t_{k,k} = \Delta x_1,$$

$$\Delta t_{m,k} = \Delta x_2,$$

$$\Delta t_e = \Delta x_3,$$

$$\Delta t_a = \Delta y_1,$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_1} = \frac{\partial f_1}{\partial x_2} = \frac{m}{2}(n+1) \left(\frac{G_k}{360}\right)^p F_{k,ж\ сьрт} \left(\frac{t_{k,k}^0 + t_{m,k}^0}{2} - t_a^0\right)^n,$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_3} = \alpha F_{зим},$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial y_1} = -m(n+1) \left(\frac{G_k}{360}\right)^p F_{k,ж\ сьрт} \left(\frac{t_{k,k} + t_{m,k}}{2} - t_a\right) - \alpha F_{зим}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial y_1^{(1)}} = -V\rho_a c_a.$$

Онда жылу құрылғысы бар ғимарат динамикалық теңдеуі стандартты түрде сипатталады:

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial f_1}{\partial x_3} \Delta x_3 + \frac{\partial f_1}{\partial y_1} \Delta y_1 + \frac{\partial f_1}{\partial y_1^{(1)}} \frac{dy_1}{d\tau} = 0 \quad (10)$$

Сонымен, жылу құрылғысы бар ғимараттың жуықтатылған жобасы (9) - (10), линеаризациялық ғимараттағы ауа температурасы өсімінің (Δt_a немесе Δy_1) жылу құрылғысының кіріс температурасына ($\Delta t_{k,k}$ немесе Δx_1) тәуелділікті көрсететін бірінші дәрежелі сызықты дифференциальдық теңдеу болып табылады [6].

ҚОРЫТЫНДЫ

Сызықсыз тәуелділіктегі линеаризацияланған дифференциальдық теңдеулер арқылы реттеу үрдісі кезінде жылу құрылғысынан бөлінетін жылу шығыны өзгеріссіз қалады. Ал мұндағы жылу құрылғысының кіріс температурасын реттеу негізінде сапалы басқару арқылы жүзеге асады. Тұрғызылған математикалық жоба арқылы ғимарат ішіндегі ауа температурасының өзгерісін анықталып, сапалы басқару арқылы ғимарат ішіндегі қалыпты-күй орнату жүзеге асады. Бұл зерттеулер тиімді басқару жүйесін жобалау кезінде өте маңызды болып табылады [6-7].

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 Лариков, Н. Н. Теплотехника. – М. : Стройиздат 1985. – 432 с., ил.
- 2 Бродач, М. М. Повышение тепловой эффективности зданий оптимизационными методами. Дис. канд. техн. наук. – М. : НИИСФ, 1988.

3 Отопление и вентиляция. Учебник для вузов в 2-х ч. Ч. 2. Вентиляция. Под ред. В. Н. Богословского. – М. : Стройиздат, 1976. – 439 с.

4 Пешель, М. Моделирование сигналов и систем. – М. : Мир, 1981. – 304 с.

5 Росин, М. О., Булыгин, В. С. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления. – М. : Машиностроение, 1981. – 312 с.

6 Эльсгольц, Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М. : Наука, 1969.

7 Шкловер, А. М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1961.

Материал 11.03.16 баспаға түсті.

A. S. Ainagulova, A. E. Temirgaliyeva

Построение математической модели объекта управления – помещения с отопительным прибором

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Материал поступил в редакцию 11.03.16.

A. S. Ainagulova, A. E. Temirgaliyeva

Constructing a mathematical model of the control object – the room with the heater

L. Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Material received on 11.03.16.

В статье с помощью теплоты выделяемой прибором, расходов энергии и компенсации потерь из-за теплообмена с внешней средой, на основании закона сохранения энергии строится математическая модель. Каждому параметру даются отдельные описания, а также с помощью основных параметров начальная математическая модель преобразуется в нелинейное дифференциальное уравнение и оно линеаризуется.

In the article with the help of device generated heat, cost of energy and compensation for losses due to heat exchange with the environment, on the basis of the energy conservation law a mathematical model is constructed. Every individual parameter is given descriptions, as well as through the main parameters, the initial mathematical model is transformed into nonlinear differential equations and then is linearized.

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 (*оформляются на языке публикуемого материала: кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см.*).

Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (*см. образец*);

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 признаков заимствования и присвоения чужих трудов. Любое научное изыскание опирается на предыдущие (смежные) открытия ученых, поэтому обязательно ссылаться на источники, из которых берется информация. Также можно описать методы исследования, процедуры, оборудование, параметры измерения, и т.д. (*не более 1 страницы*).

- слова **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** / НЕГІЗГІ БӨЛІМ / MAIN PART (*нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре*).

Это отражение процесса исследования или последовательность рассуждений, в результате которых получены теоретические выводы. В научно-практической статье описываются стадии и этапы экспериментов или опытов, промежуточные результаты и обоснование общего вывода в виде математического, физического или статистического объяснения. При необходимости можно изложить данные об опытах с отрицательным результатом. Затраченные усилия исключают проведение аналогичных испытаний в дальнейшем и сокращают путь для следующих ученых. Следует описать все виды и количество отрицательных результатов, условия их получения и методы его устранения при необходимости. Проводимые исследования предоставляются в наглядной форме, не только экспериментальные, но и теоретические. Это могут быть таблицы, схемы, графические модели, графики, диаграммы и т.п. Формулы, уравнения, рисунки, фотографии и таблицы должны иметь подписи или заголовки (*не более 10 страниц*).

- слово **ВЫВОДЫ** / ҚОРЫТЫНДЫ / CONCLUSION (*нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре*).

Собираются тезисы основных достижений проведенного исследования. Они могут быть представлены как в письменной форме, так и в виде таблиц, графиков, чисел и статистических показателей, характеризующих основные выявленные закономерности. Выводы должны быть представлены без интерпретации авторами, что дает другим ученым возможность оценить качество самих данных и позволит дать свою интерпретацию результатов (*не более 1 страницы*).

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: kereky@mail.ru

Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге.**

РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654	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	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZZKX 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

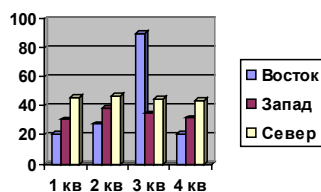


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

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-құлқында 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 14.03.2016 ж. жіберілді. Басуға 25.03.2016 ж. қол қойылды.

Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.

Көлемі шартты 12,8 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы

Корректорлар: А. Р. Омарова, З. С. Исакова

Тапсырыс № 2782

Сдано в набор 14.03.2016 г. Подписано в печать 25.03.2016 г.

Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.

Объем 12,8 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Елемесқызы

Корректоры: А. Р. Омарова, З. С. Исакова

Заказ № 2782

«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