

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

№ 3 (2015)

Павлодар

MAZMҰНЫ

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*

Алиферов А. И., Мелешко А. А., Радько С. И. Цилиндрлік беттердің индукторларының өзіндік индуктивті кедергілері	9
Андреева О. А. Реттеу өндірістік объектілерінің динамикалық сипаттамаларын эксперименттік түрінде анықтау	13
Ахметбаев Д. С., Арапбеков А. Д., Акшалов А. Т. Күрделі электрлік желілердің тұрақты режимдерін дәл есептейтін оперативтік әдіс	18
Злотников И. И., Захаров И. В. Тау жыныстары мен минералдарының қирауы кезіндегі микросызаттағы технологиялық сұйықтықтың мінез ерекшеліктерін зерттеу	27
Исабеков Д. Д. Электрберіліс желінің жерге тұйықталудан нөлдік тізбектерін максимал тоқты қорғау бойынша тексеру құрылымы	36
Қайдар А. Б., Шапкенов Б. Қ., Кислов А. П., Марковский В. П. Еркін экономикалық жағдаят аймақтың «Тараз химиялық бақ» сору станциясын ықшамдауы	43
Қайдар А. Б., Шапкенов Б. Қ., Кислов А. П., Марковский В. П. Электржабдықтарды қорғау үшін программаланған логикалық микросхемалар технологиясы базасында жылдам әрекет етуші микропроцессорлық қорғаныстар	51
Кибартас В. В., Кибартене Ю. В. Сорғы құрылғысының өнімділігін реттеудің автоматтандырылған жүйесі ...	58
Кузнецова Н., Мустафина Р., Сарсикеев Е. Электрразрядты технологиялардағы қатты денелерде болатын электрлік жарылу кезінде орын алатын толқындық динамика мен бұзылу	63
Кусманов Д. К. Қазақстан көмір өнеркәсібі еңбекті қорғау және қауіпсіздік саласындағы жақын келешекке басымдықтары	73
Лукутин Б., Мустафина Р., Сарсикеев Е. Электрлік энергияны жинақтайтын инверторлық типті микрогидроэлектрстанциялары үшін күшті түрлендіргіштерді модельдеу ..	76
Никифоров А. С., Приходько Е. В. Органикалық қалдықтардан отындық брикет алу тәсілін құрастыру	83
Новожилов А. Н., Исабеков Ж. Б. Жерге бір фазалы тұйықталулар кезіндегі кабельдік тораптардың жұмысы сенімділігін көтеру	88
Хабдуллин Ә. Б., Хабдуллина З. К., Хабдуллин Г. А., Хабдуллин А. Б. Қысқа тұйықталу роторымен асинхронды қозғалтқыштардағы қуат шығынының статистикалық сипаттамасы	97

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

Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В., Ахметшаихов А. А.

Электртехнологиялық қондырғылардың жұмысының
квазитұрақты және ауысу тәртіптерін зерттеу 105

Шайхин А. К., Далабаев С., Анарбаев А. Е.

Ақпарат жіберу желісінде аса қысқа электромагниттік импульс
есерінің талдау әдістемелік тәсілдемесі 112

Авторларға арналған ережелер 119

СОДЕРЖАНИЕ

Алиферов А. И., Мелешко А. А., Радько С. И.

Собственные электрические сопротивления внутренних индукторов
цилиндрических поверхностей 9

Андреева О. А.

Экспериментальное определение динамических характеристик
промышленных объектов регулирования 13

Ахметбаев Д. С., Арапбеков А. Д., Акшалов А. Т.

Оперативный метод точного расчета установившихся
режимов сложных электрических сетей 18

Злотников И. И., Захаров И. В.

Исследование особенностей поведения технологической жидкости в
микротрещине при разрушении горных пород и минералов 27

Исабеков Д. Д.

Установка по проверке токовой защиты нулевой последовательности
линий электро-передач от замыканий на землю 36

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

Оптимизация насосных СЭЗ «Хим парк Тараз» 43

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

Быстродействующие микропроцессорные защиты на базе
ПЛИМ технологий для защиты электрооборудования 51

Кибартас В. В., Кибартене Ю. В.

Автоматизированная система регулирования
производительности насосной установки 58

Кузнецова Н. С., Мустафина Р. М., Сарсикеев Е. Ж.

Волновая динамика и разрушение при электровзрыве
в твердых телах в электроразрядных технологиях 63

Кусманов Д. К.

Приоритеты на ближайшую перспективу в области охраны труда и
промышленной безопасности в угольной промышленности Казахстана 73

Лукутин Б. В., Мустафина Р. М., Сарсикеев Е. Ж.

Моделирование силовых преобразователей для микрогидроэлектростанций
инверторного типа с накопителем электрической энергии 76

Никифоров А. С., Приходько Е. В.

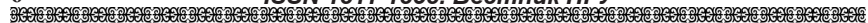
Разработка способа получения топливного брикета
из органических отходов 83

Новожилов А. Н., Исабеков Ж. Б.

Повышение надежности работы кабельных сетей при однофазных
замыканиях на землю 88

Хабдуллин А. Б., Хабдуллина З. К., Хабдуллина Г. А., Хабдуллин А. Б.

Статические характеристики потерь мощности в асинхронных
двигателях с короткозамкнутым ротором 97



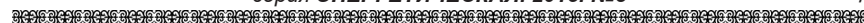
Хацевский В. Ф., Гоненко Т. В., Ахметшаихов А. А.

Исследования квазистационарных и переходных режимов работы
электротехнологических установок105

Шайхин А. К., Далабаев С., Анарбаев А. Е.

Методические подходы к анализу воздействия сверхкоротких
электромагнитных импульсов в сетях передачи информации 112

Правила для авторов 119



CONTENT

Aliferov A. I., Meleshko A. A., Rad'ko S. I.

Native impedances of the inner inductors in the cylindrical enclosures9

Andreyeva O.

Experimental determination of dynamic characteristics
of industrial objects of regulation13

Akhmetbayev D. S., Arapbekov A. D., Akshalov A. T.

The efficient method of the steady state exact calculation
in the complicated electrical networks18

Zlotnikov I. I., Zakharov I. V.

Investigation of processed fluid conduct in microcracks
in rock and minerals failure27

Isabekov D. D.

Installation for verification of residual power line's
overcurrent protection from ground fault36

Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markowsky V. P.

Pump optimization at special economic zone «Chemical Park Taraz»43

Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markowsky V. P.

High-speed microprocessor-protection based on
PLIM technologies to protect electric drivers51

Kibartas V. V., Kibartene Ju. V.

The automated system of pump installation productivity regulation58

Kuznetsova N., Mustafina R., Sarsikeyev Ye.

Wave dynamics and solid destruction at electro-blast
in electro-discharge technologies63

Kusmanov D. K.

Priorities for the near future in the field of occupational health
and safety in the coal industry in Kazakhstan73

Lukutin B., Mustafina R., Sarsikeyev Ye.

Simulation of power converters for microhydropower plants of inverter type with
electrical power pool-fed76

Nikiforov A. S., Prikhodko E. V.

A method for producing fuel briquettes from organic waste83

Novozhilov A. N., Issabekov Z. B.

Increase of cable networks reliability at monophasе earth-faults88

Khabdullin A. B., Khabdullina Z. K., Khabdullina G. A.,

Khabdullin A. B.

Static characteristics of power losses in asynchronous engines
with squirrel-cage rotor97

Khatsevskiy V., Gonenko T., Akhmetshaikhov A.

Research of quasistationary and transitional operating modes
of electrotechnological installations105

Shaikhin A. K., Dalabaev S., Anarbayev A. E.

Methodological approaches to the analysis of the ultrashort electromagnetic pulses impact in the information networks 112

Rules for authors 119

УДК 621.395.631.4:621.3.028.

А. И. Алиферов¹, А. А. Мелешко², С. И. Радько³

¹д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автоматизированные электротехнологические установки»; ²ст. преподаватель; ³к.т.н., Кафедра автоматизированных электротехнологических установок, Факультет мехатроники и автоматизации, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

СОБСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ИНДУКТОРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье исследуется совместное влияние поверхностного эффекта, эффекта близости, кольцевого эффекта и эффекта паза на активное и собственное индуктивное сопротивление индуктора, находящегося внутри полой цилиндрической заготовки. Представлены зависимости относительного коэффициента активного и собственного индуктивного сопротивления индуктора от относительных геометрических параметров системы «индуктор – полая заготовка конечных размеров», удельного электросопротивления нагреваемой немагнитной заготовки при наличии и отсутствии внутреннего магнитопровода.

Ключевые слова: Индуктор в цилиндрической полости нагреваемой заготовки, активное сопротивление индуктора, собственное индуктивное сопротивление индуктора, магнитопровод, численная модель.

Активное и собственное индуктивное сопротивления индуктора зависят от распределения плотности тока по сечению трубки индуктора. Расчет распределения плотности тока по сечению трубки индуктора был сделан для схемных решений, приведенных на рисунке 1. Были исследованы одно-, двухвитковые индукторы с водяным охлаждением и расстояниями между витками $t=2,5$ мм, выполненными из трубки сечением 10×10 мм с толщиной стенки $S=1$ мм. Индуктор располагался внутри заготовки, выполненной из меди или немагнитной стали в «холодном» (температура 20 °С) и «горячем» (500 °С для меди и 1000 °С для стали) режимах. Внутренний радиус нагреваемой загрузки изменялся в диапазоне $R_i=50 \div 110$ мм. Расстояние между индуктором и поверхностью заготовки было $\Delta=1$ мм, а частота тока в индукторе изменялась в диапазоне $f=50 \div 500$ кГц.

Описание модели

Расчет был выполнен посредством численного моделирования в программном комплексе ANSYS.

Зависимости активного и собственного индуктивного сопротивлений индуктора были представлены в виде коэффициентов активного сопротивления и индуктивного сопротивления переменному току

$$k_r = \frac{r_{ac}}{r_{a\delta}} \text{ и } k_x = \frac{X_{ac}}{r_{a\delta}},$$

где r_{ac} – активное сопротивление трубки индуктора переменному току; $r_{a\delta} = \frac{\rho w \pi D_e}{h \delta}$ – сопротивление постоянному току слоя трубки индуктора, равного глубине проникновения электромагнитной волны в материал индуктора на исследуемой частоте тока; ρ – удельное электросопротивление материала индуктора; w – число витков индуктора; $D_e = 2(R_i - \Delta)$ – внешний диаметр катушки индуктора; h – осевой размер витка индуктора; δ – глубина проникновения электромагнитной волны в материал индуктора.

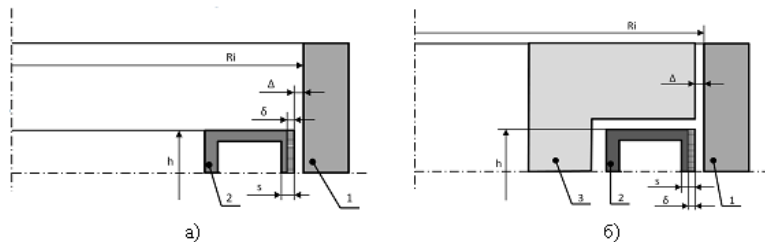


Рисунок 1 – Модель одновиткового индуктора без магнитопровода (а) и с магнитопроводом (б): 1 – нагреваемое изделие, 2 – индуктор; 3 – магнитопровод.

Полученные значения k_r и k_x представлены на рисунке 2, как функции от параметра $m = \frac{s}{\delta}$, где s – толщина стенки трубки индуктора.

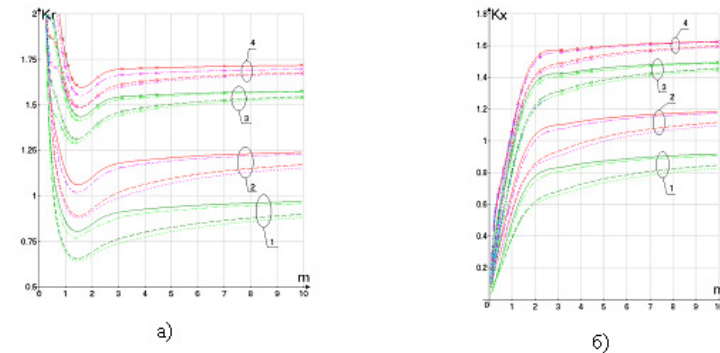


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов k_r и k_x от относительной толщины m , материала и температура нагреваемой заготовки с индуктором (1 – без магнитопровода с 1 витком, 2 – без магнитопровода с 2 витками, 3 – с магнитопроводом и 1 витком, 4 – с магнитопроводом и 2 витками): - - - - сталь при 1000 °С, — — — — сталь при 20 °С, ······ медь при 500 °С, — — — — медь при 20 °С

Анализ рисунка 2 позволяет сделать следующие выводы.

1. При увеличении температуры (увеличении удельного электросопротивления) загрузки уменьшаются k_r . Это очевидно, так как при увеличении температуры, увеличивается удельное сопротивление материала загрузки и уменьшается активное сопротивление трубки индуктора. Сопротивление трубки индуктора уменьшается потому, что при стабилизированном токе индуктора и неизменном по величине магнитном потоке, пронизывающем заготовку, и также неизменным по мере нагрева значения ЭДС, наводимой в загрузке, вихревой ток, протекающий в загрузке уменьшается. При этом его воздействие на ток индуктора ослабевает, т.е. ослабевает проявление эффекта близости. Это приводит к тому, что кольцевой эффект в индукторе перераспределяет ток по сечению трубки индуктора, ослабляя его значение у поверхности, обращенной к заготовке и усиливает на внутренней его поверхности. Тем самым увеличивается эквивалентное сечение, по которому протекает ток в индукторе. Активное сопротивление току индуктора уменьшается.

2. При увеличении температуры загрузки уменьшаются k_x . Это связано с тем, что увеличивается поперечное сечение, по которому протекает ток в трубке индуктора. В этом случае уменьшается диаметр и площадь кольцевого контура, охваченного окружностью, соответствующей радиальной координате среднеинтегральной плотности тока в индукторе, а, значит, уменьшается потокосцепление тока в индукторе с его собственным магнитным потоком.

Полученные результаты хорошо согласуются данными, приведенными в [1 -3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Активное сопротивление индуктора при индукционном нагреве внутренних цилиндрических поверхностей / С. Лупи, М. Форзан, А. И. Алиферов, А. А. Мелешко // Электротехника. – М. : Изд-во МЭИ (ТУ), 2010. – № 5. – С. 43-47.

2 Индукционный и электроконтактный нагрев металлов: монография / А. И. Алиферов, С. Лупи. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 410 с.

3 **Nemkov, V., Goldstein, R., Bukanin, V.** Optimal design of internal induction coils / Proceedings of Heating by Electromagnetic Sources, Padua, Italy, June 2004. – Padua : Publishing House University of Padua, 2004. – P. 489-496.

Материал поступил в редакцию 25.08.15.

A. И. Алиферов, А. А. Мелешко, С. И. Радько

Цилиндрлік беттердің индукторларының өзіндік индуктивті кедергілері

Новосібір мемлекеттік техникалық университеті,
Новосібір қ., Ресей.

Материал 25.08.15 баспаға түсті.

A. I. Aliferov, A. A. Meleshko, S. I. Rad'ko

Native impedances of the inner inductors in the cylindrical enclosures

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

Material received on 25.08.15.

Бұл мақалада іші қуыс цилиндрлік дайындама ішіндегі индуктордың активті және өзіндік индуктивті кедергісіне беттік әсердің, жақындық әсерінің, сақиналық әсердің және науаша әсерінің бірлескен әсері зерттеледі. Индуктордың активті және өзіндік индуктивті кедергілерінің салыстырмалы коэффициентінің «индуктор – өлшемдері ақырлы қуыс дайындама» жүйесінің геометриялық корсеткіштерінен тәуелділіктері және ішкі магниттік сымы бар немесе жоқ кезде магнитті емес қыздырылатын дайындаманың салыстырмалы электркедергісінің тәуелділіктері көрсетілген.

In this paper we have researched the joint impact of the surface effect, nearness effect and slot effect on the active and native inductive impedance of the inductor, positioned inside the coreless cylindrical billet. There are also represented the dependences of the active and native inductive impedance

relative coefficient for the inductor on the relative geometrical parameters of the system «inductor – finite-sized coreless billet», specific impedance of the heated non-magnetic billet with and without inner iron circuit.

УДК 681.5(075)

О. А. Андреева

к.т.н., ассоциированный профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В статье показана возможность определения динамических характеристик промышленных объектов, действующих экспериментальным путем.

Ключевые слова: объект управления, динамические характеристики, экспериментальное определение, средства измерения.

Наиболее достоверные динамические характеристики действующих промышленных объектов могут быть получены экспериментальным путем. Эти объекты представляют собой, как правило, многоемкостные системы с различными сопротивлениями, запаздываниями и нелинейными зависимостями, поэтому аналитически определить их динамические свойства по конструктивному и физическим данным весьма сложно.

При экспериментальном определении динамических свойств объекта анализируют характер переходного или установившегося колебательного процесса, вызванного специально внесенными на вход объекта возмущениями либо случайными эксплуатационными возмущениями.

В первом случае используют, как правило, три типа возмущений:

– однократное скачкообразное возмущение, которому соответствует переходный процесс, называемый кривой разгона (или временной характеристикой);

– однократное импульсное возмущение, которому соответствует переходный процесс, называемый импульсной характеристикой (или функцией веса);

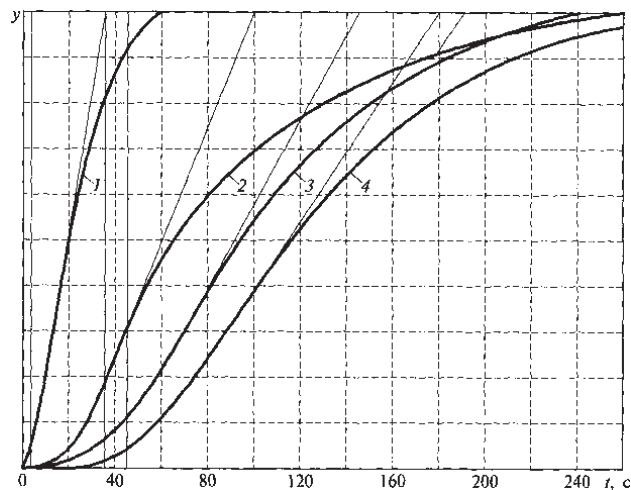
– периодические возмущения, повторяющиеся с определенной частотой, которым соответствует установившийся процесс колебаний выходной

величины; по кривым изменения входной и выходной величин определяют частотные характеристики объекта.

Во втором случае динамические характеристики определяют путем статистического анализа кривых изменения во времени обычных эксплуатационных значений входной и выходной величин объекта без внесения специальных возмущений. Однако обработка громоздкого экспериментального материала требует больших усилий, поэтому этот метод не может быть рекомендован для широкого практического использования.

При выборе метода экспериментального определения динамических свойств объекта следует исходить из характера поставленной задачи, условий проведения опытов, допустимых по технологическим требованиям отклонений исследуемой выходной величины объекта и характера случайных эксплуатационных возмущений.

Так, кривые разгона можно получить проще и быстрее, чем частотные характеристики, однако в этом случае отклонения выходной величины от номинального значения обычно значительнее, и случайные эксплуатационные возмущения больше искажают результаты. Следовательно, для выбора регулятора и его настроек вполне достаточно кривых разгона объекта, а для исследования его устойчивости удобнее использовать частотные характеристики. На рисунке 1 приведены кривые разгона реального промышленного объекта.

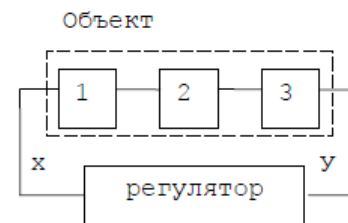


1 – давление на колошнике; 2 – температура дутья; 3 – температура купола воздухоподогревателя; 4 – влажность дутья

Рисунок 1 – Кривые разгона регулируемых параметров доменной печи

При исследовании сложного, многомерного объекта, переходный процесс в котором зависит от различных физических величин, динамические свойства объекта следует определять отдельно по каждой из этих величин. Таким образом, многомерный объект рассматривается как совокупность соответствующего числа одномерных объектов, переходные процессы в которых протекают независимо друг от друга. При этом предполагают, что перекрестные связи в агрегатах и процессах либо вовсе отсутствуют, либо незначительны, и в первом приближении ими можно пренебречь. На реальных объектах практически всегда исследуют какой-либо определенный участок от регулирующего органа до места измерения соответствующей выходной величины.

Объектом регулирования является сложное динамическое звено, в сочетании с которым работает регулятор. В это звено входят рассматриваемый участок агрегата, чувствительный элемент и все средства измерения выходной величины, а также регулирующий орган, изменяющий поступление регулирующей среды по команде регулятора (рисунок 2). Для того чтобы выбрать регулятор и его настройки, необходимо знать динамические свойства этого звена системы регулирования, так как совокупность свойств всех его элементов определяет условия работы регулятора. Регулятором является регулирующее устройство, вырабатывающее по определенному закону регулирующее воздействие и реализующее его через исполнительный механизм.



1 – регулирующий орган; 2 – агрегат; 3 – измерительный элемент

Рисунок 2 – Объект регулирования в замкнутой системе

Входной величиной объекта является положение регулирующего органа, следовательно, возможная нелинейность его характеристики будет отражена в характеристиках объекта. Кроме этого целесообразно рассматривать и регистрировать входную величину собственно агрегата, т.е. расход регулирующей среды (греющей или охлаждающей жидкости в теплообменных аппаратах; топлива в печах и котлах; воздуха при регулировании процесса горения; жидкости при регулировании уровня и т.п.). Это позволит выявить необходимость замены неудачно выбранных регулирующих органов.

Статические характеристики нелинейного объекта, иллюстрирующие связи между значениями его входных и выходных величин в установившихся состояниях, также нелинейные, а дифференциальные уравнения переходных процессов (динамические характеристики) будут представлять собой нелинейные дифференциальные уравнения, коэффициенты которых зависят от значений переменных.

Нелинейность, если она существенная, приводит к часто наблюдаемому изменению экспериментальных динамических характеристик объектов, особенно при больших возмущениях или значительных изменениях нагрузки объекта. Поэтому определение динамических характеристик объектов, технологическим режимам которых свойственны широкие диапазоны изменения нагрузки, следует проводить при различных режимах (хотя бы при двух видах нагрузки – высокой и пониженной). Сравнение полученных при этом результатов позволит оценить степень нелинейности объекта и допустимые пределы линеаризации его характеристик. На объектах с узким диапазоном изменения нагрузки обычно достаточно провести опыты при номинальном режиме.

В отдельных случаях выходная величина объекта, характеризующая состояние агрегата и ход технологического процесса, может зависеть вследствие наличия перекрестных связей от нескольких входных величин. Тогда необходимо провести опыты с возмущениями по каждой из этих величин отдельно. Полученные результаты позволят оценить степень зависимости между этими величинами. Следовательно, в ходе опытов по определению динамических характеристик целесообразно контролировать, а иногда и регистрировать изменения во времени не только входной и выходной величин объекта, но и тех величин, изменение которых может сказаться на характере переходного процесса. Так, например, исследуя изменение уровня воды в барабане парового котла, при возмущении по расходу воды следует регистрировать также изменения паровой нагрузки и давления пара в барабане, а при возмущении по расходу пара – расход воды; при определении кривой разгона по температуре в одной из зон многозонной нагревательной печи следует регистрировать расход топлива не только в этой, но и в соседних зонах. Это позволяет лучше контролировать стабильность условий опыта, оценивать достоверность полученных результатов, а иногда и вносить в них необходимые поправки.

В опытах по определению динамических характеристик важен правильный выбор средств измерения и регистрации входных и особенно выходных величин. Если на объекте уже установлена определенная система автоматического регулирования, то для измерения выходной величины следует использовать те измерительные приборы, которые входят в данную систему. В этом случае определяют и затем используют для расчета общие

характеристики звена, включающего в себя объект, импульсные линии и измерительный прибор, сигнал от которого поступает на регулятор.

Регистрация изменения входной величины объекта, как правило, не вызывает затруднений. Ее можно производить либо при непосредственном наблюдении, определяя момент внесения возмущения и его величину по указателю положения регулирующего органа, либо по приборам, измеряющим расход соответствующей регулирующей среды. При исследовании быстро протекающих процессов целесообразно снабжать регулирующие органы электрическими датчиками и регистрировать изменения автоматически.

При регулировании сравнительно медленно протекающих процессов (изменений температуры, влажности и др.) выходные (и входные) величины объекта рекомендуется регистрировать с помощью многоканальных приборов. В тех случаях, когда нужно полностью исключить влияние измерительной аппаратуры, следует использовать практически безынерционные приборы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методы классической и современной теории и автоматического управления: Учебник в 3 т. – Т. 1. Анализ и статическая динамика систем автоматического управления / под ред. Н. Е. Егупова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
- 2 **Шишмарев, В. Ю.** Типовые элементы систем автоматического регулирования. – М. : Изд. центр «Академия», 2004.
- 3 **Шавров, А. В., Коломнец, А. П.** Автоматика. – М. : Колосс, 2009.
- 4 **Бородин, И. Ф., Судник, Ю. А.** Автоматизация технологических процессов, 2004. – 312 с.

Материал поступил в редакцию 10.09.15.

О. А. Андреева

Реттеу өндірістік объектілерінің динамикалық сипаттамаларын эксперименттік түрінде анықтау

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 10.09.15 баспаға түсті.

O. Andreyeva

Experimental determination of dynamic characteristics of industrial objects of regulation

S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 10.09.15.

Мақалада эрекет етуші өндірістік объектілердің динамикалық сипаттамаларын экспериментальды түрде анықтау мүмкіндігі көрсетілген.

The article shows the possibility of determining the dynamic characteristics of existing experimental industrial facilities.

УДК 621.3.01

Д. С. Ахметбаев, А. Д. Арапбеков, А. Т. Акшалов

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕТОД ТОЧНОГО РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В статье приводятся математические описания узловых уравнений сложных электрических сетей, позволяющие оперативно, точно вычислить параметры режима на основе матриц коэффициентов распределения узловых токов.

Ключевые слова: установившийся режим, электрическая сеть, метод расчета, матричный метод, распределение токов.

При расчетах режимов нелинейной схемы электрической сети требуется определение напряжений во всех независимых узлах схемы, на основе методов итерации [1]. По этим значениям напряжений уточняются значения задающих токов.

Как следует из анализа матрицы $\underline{C}' \underline{Z}_e \underline{C}$ системных функций сопротивления [2], что именно эта матрица позволяет связать матрицу \underline{J} задающих токов с матрицей \underline{U}_Δ падений напряжения в узлах относительно нейтрали по формуле:

$$\underline{U}_\Delta = \underline{C}' \underline{Z}_e \underline{C} \underline{J} \underline{U}, \quad (1)$$

где $\underline{J}(\underline{U})$ – нелинейная матрица задающих токов.

При напряжении базисного узла, равного \underline{U}_0 , матрица напряжений в узлах определяется в виде:

$$\underline{U} = \underline{U}_0 + \underline{C}' \underline{Z}_e \underline{C} \underline{J} \underline{U}, \quad (2)$$

По известной матрице коэффициентов распределения узловых токов, расчеты установившихся режимов выполняются на основе одних и тех же алгоритмов, по формуле (1).

В результате расчетов по формуле (1) определяются уточненные значения матриц задающих токов и узловых напряжений.

Существенное затруднение, в ряде случаев, связанное с реализацией метода с применением матрицы \underline{Z} вызывается только сложностью определения матрицы, узловых сопротивлений, т.е. матрицу системных функций сопротивления.

Использование формулы (1) снимает эти затруднения, так как матрица коэффициентов токораспределения позволяет преобразовать матрицу сопротивлений ветвей в матрицу системных функций сопротивления с точностью задания исходных параметров схемы замещения электрической сети.

По уточненным значениям, задающих токов определяются действительные токи в ветвях схемы, которые равны:

$$\underline{I} = \underline{C} \cdot \underline{J}, \quad (3)$$

По результатам расчетов по формулам (2), (3) можно получить матрицу, по которой видно, какое значение полной мощности передается от данного узла или поступает в данный узел по ветви, соединяющей его с другим узлом.

Для этой цели, можно воспользоваться свойствами матричной алгебры и записать матрицу \underline{I} токов в ветвях в диагональной форме и умножить ее на расширенную матрицу \underline{M}_Σ соединения узлов слева.

$$\underline{I}_\Sigma = \underline{M}_\Sigma \underline{I}_D, \quad (4)$$

При этом получается прямоугольная матрица, в каждом столбце которой ток ветви j встречается дважды: с положительным знаком в строке – соответствующей ее начальной вершине, и с отрицательным – соответствующей конечной вершине j ветви.

Прямоугольная матрица, содержащая значения полной мощности у начальной и конечной вершины каждой ветви схемы, может быть записана в виде:

$$\underline{S}_e = \underline{U}_{D\Sigma} \cdot \underline{I}_\Sigma = \underline{U}_{D\Sigma} \underline{M}_\Sigma \underline{I}_D = \underline{U}_{D\Sigma} \underline{M}_\Sigma \underline{C} \underline{J}_D, \quad (5)$$

где $\underline{U}_{D\Sigma}$ – диагональная матрица узловых напряжений, включая напряжения базисного узла;

\underline{I}_D – диагональная матрица сопряженных токов в ветвях.

При этом мощность передаваемая узлу получается положительной, а от узла – отрицательной. Сумма значений расположенных в каждом столбце матрицы $\dot{\underline{S}}_g$, дает полную мощность потерь в соответствующей ветви.

Более компактное можно записать матрицу значений полной мощности в ветвях, в виде:

$$\dot{\underline{S}}_{sq} = \dot{\underline{U}}_{D\Sigma} \mathbf{M}_\Sigma \hat{\underline{I}}_D [\mathbf{M}_\Sigma^t], \quad (6)$$

где $[\mathbf{M}_\Sigma^t]$ – транспонированная полная матрица соединений узлов, в которой все отрицательные знаки заменены на положительные.

Определение потери мощности в сети имеет важное значение при анализе режимов электрической сети. Расчет может быть выполнен различными способами. Рассмотрим потерю мощности в i – ой ветви как разность комплексных мощностей по концам в виде:

$$\Delta \dot{\underline{S}}_i = \dot{\underline{S}}_i^H - \dot{\underline{S}}_i^K = \dot{\underline{U}}_{ei} \hat{\underline{I}}_i, \quad (7)$$

где $\hat{\underline{I}}_i$ – сопряженный комплекс тока i – ой ветви;

$\dot{\underline{U}}_{ei}$ – комплексное напряжение i – ой ветви.

Уравнение (7) может быть записано в матричной форме:

$$\Delta \dot{\underline{S}} = \dot{\underline{U}}_g \hat{\underline{I}}, \quad (8)$$

Транспонированная матрица напряжений ветвей может быть преобразована, относительно узловых падений напряжения, следующим образом:

$$\dot{\underline{U}}_g^t = [\mathbf{M}^t \dot{\underline{U}}_\Delta]^t = \dot{\underline{U}}_\Delta^t \mathbf{M} = \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}} \underline{\mathbf{C}} \underline{\mathbf{J}}^t \mathbf{M} = \underline{\mathbf{J}}^t \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_g \underline{\mathbf{C}}^t \mathbf{M}, \quad (9)$$

Поскольку матрица системных функций сопротивления является симметричной, то имеет место тождество:

$$\underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}} \underline{\mathbf{C}} = \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_g \underline{\mathbf{C}}^t, \quad (10)$$

которое позволяет записать выражение (9) в виде:

$$\dot{\underline{U}}_g^t = \underline{\mathbf{J}}^t \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_g \underline{\mathbf{C}}^t \mathbf{M}. \quad (11)$$

Теперь запишем выражение (8) с учетом (11) в виде:

$$\Delta \dot{\underline{S}} = \underline{\mathbf{J}}^t \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_g \underline{\mathbf{C}}^t \mathbf{M} \cdot \hat{\underline{I}} = \underline{\mathbf{J}}^t \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_g \underline{\mathbf{C}}^t \hat{\underline{J}}. \quad (12)$$

Раскрывая значения матриц (12) получим:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{\underline{S}} &= \Delta P + j\Delta Q = \left\| \underline{\hat{J}}_1 \quad \underline{\hat{J}}_2 \quad \underline{\hat{J}}_3 \quad \dots \quad \underline{\hat{J}}_n \right\| \times \\ &\times \left\| \begin{array}{cccc} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \\ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \end{array} \right\| \cdot \left\| \begin{array}{c} \underline{\hat{J}}_1 \\ \underline{\hat{J}}_2 \\ \underline{\hat{J}}_3 \\ \vdots \\ \underline{\hat{J}}_n \end{array} \right\| = \left\| \underline{\hat{J}}_1 \quad \underline{\hat{J}}_2 \quad \underline{\hat{J}}_3 \quad \dots \quad \underline{\hat{J}}_n \right\| \times \\ &\times \left\| \begin{array}{cccc} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2 & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n \\ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2 & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2 & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n \end{array} \right\| = \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1^2 + \\ &+ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 \underline{\hat{J}}_2 + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 \underline{\hat{J}}_n + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2 \underline{\hat{J}}_1 + \\ &+ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2^2 + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2 \underline{\hat{J}}_n + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n \underline{\hat{J}}_2 + \\ &+ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n \underline{\hat{J}}_2 + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n^2 = \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1^2 + \\ &+ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2^2 + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n^2 + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 \underline{\hat{J}}_2 + \\ &+ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{\hat{J}}_2 \underline{\hat{J}}_1 + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{\hat{J}}_1 \underline{\hat{J}}_n + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{\hat{J}}_n \underline{\hat{J}}_2 + \dots \end{aligned}$$

С учетом тождества

$$\underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jk} = \underline{C}_{kj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{ji}$$

и суммы произведений двух сопряженных комплексных:

$$\underline{\hat{J}}_i \underline{\hat{J}}_j + \underline{\hat{J}}_i \underline{\hat{J}}_j = 2 \operatorname{Re}(\underline{\hat{J}}_i \underline{\hat{J}}_j) = 2 \underline{\hat{J}}_i \underline{\hat{J}}_j \cos \delta_{ij}$$

где $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ – относительный угол сдвига фаз комплексных задающих токов \underline{J}_i и \underline{J}_j ,

имеем:

$$\begin{aligned} \Delta P + j\Delta Q = & \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \underline{J}_1^2 + \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{J}_2^2 + \dots + \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{J}_n^2 + \\ & + 2 \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \underline{J}_1 \underline{J}_2 \cos \delta_{12} + 2 \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j3} \underline{J}_1 \underline{J}_3 \cos \delta_{13} + \dots + \\ & + 2 \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \underline{J}_1 \underline{J}_n \cos \delta_{1n} + \dots \end{aligned}$$

Таким образом, суммарные потери активной и реактивной мощности, выраженные через задающие токи, могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} \Delta P = & \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \right] \underline{J}_1^2 + \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \right] \underline{J}_2^2 + \dots + \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \right] \underline{J}_n^2 + \\ & + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \right] \underline{J}_1 \underline{J}_2 \cos \delta_{12} + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j3} \right] \underline{J}_1 \underline{J}_3 \cos \delta_{13} + \dots + \\ & + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j3} \right] \underline{J}_2 \underline{J}_3 \cos \delta_{23} + \dots + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \right] \underline{J}_2 \underline{J}_n \cos \delta_{2n} + \dots \quad (13) \\ \Delta Q = & \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \right] \underline{J}_1^2 + \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \right] \underline{J}_2^2 + \dots + \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \right] \underline{J}_n^2 + \\ & + 2 \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \right] \underline{J}_1 \underline{J}_2 \cos \delta_{12} + 2 \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j3} \right] \underline{J}_1 \underline{J}_3 \cos \delta_{13} + \dots + \\ & + 2 \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j3} \right] \underline{J}_2 \underline{J}_3 \cos \delta_{23} + \dots + 2 \operatorname{Im} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \right] \underline{J}_2 \underline{J}_n \cos \delta_{2n} + \dots \end{aligned}$$

Как видно из полученных выражений для выполнения расчетов необходимо найти только матрицу коэффициентов токораспределения, которая является обобщенным параметром схемы замещения электрической сети.

Чтобы выразить потери в сетях через узловые мощности, запишем узловые задающие токи в (13) через узловые мощности и напряжения

[3]. Столбцевая матрица узловых мощностей \underline{S} равна произведению диагональной матрицы узловых напряжений \underline{U}_D на столбцевую матрицу сопряженных значений задающих токов, т.е.

$$\underline{S} = \underline{U}_D \cdot \underline{J}, \quad (14)$$

откуда, $\underline{J} = \underline{U}_D^{-1} \cdot \underline{S}$, $\underline{J} = \underline{U}_D^{-1} \cdot \underline{S}$, $\underline{J}^t = \underline{S}^t \cdot \underline{U}_D^{-1}$.

Следовательно, потери в сетях равны:

$$\Delta \underline{S} = \underline{S}^t \underline{U}_D^{-1} \cdot \underline{C}^t \underline{Z}_e \underline{C} \underline{U}_D^{-1} \underline{S}, \quad (15)$$

Раскрывая значения матриц (4.25), получим

$$\begin{aligned} \Delta \underline{S} = & \left\| \begin{matrix} \hat{S}_1 & \hat{S}_2 & \dots & \hat{S}_n \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} \hat{U}_1 \\ \hat{U}_2 \\ \dots \\ \hat{U}_n \end{matrix} \right\| \times \\ & \times \left\| \begin{matrix} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \\ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} & \dots & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} \hat{U}_1 \\ \hat{U}_2 \\ \dots \\ \hat{U}_n \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} \hat{S}_1 \\ \hat{S}_2 \\ \dots \\ \hat{S}_n \end{matrix} \right\| \end{aligned}$$

Перемножая матрицы, можно получить выражение для потери полной мощности в сети, в виде:

$$\begin{aligned} \Delta S = & \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \frac{S_1^2}{U_1^2} + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \frac{S_2^2}{U_2^2} + \dots + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{nj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jn} \frac{S_n^2}{U_n^2} + \\ & + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \frac{\hat{S}_1 \hat{S}_2}{\hat{U}_1 \hat{U}_2} + \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \frac{\hat{S}_2 \hat{S}_1}{\hat{U}_2 \hat{U}_1} + \dots \quad (16) \end{aligned}$$

где $S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2$, $S_2^2 = P_2^2 + Q_2^2$, ..., $U_1^2 = (U_1')^2 + (U_1'')^2$, $U_2^2 = (U_2')^2 + (U_2'')^2$.

Сумма двух сопряженных комплексов равна:

$$\frac{\hat{S}_i \hat{S}_j}{\hat{U}_i \hat{U}_j} + \frac{\hat{S}_j \hat{S}_i}{\hat{U}_j \hat{U}_i} = 2 \operatorname{Re} \frac{\hat{S}_i \hat{S}_j}{\hat{U}_i \hat{U}_j} = 2 \operatorname{Re} \frac{(P_i + jQ_i)(P_j - jQ_j)}{U_i U_j} (\cos \delta_{ij} - j \sin \delta_{ij}) =$$

$$= 2 \frac{(P_i P_j + Q_i Q_j) \cos \delta_{ij} - (P_i Q_j - P_j Q_i) \sin \delta_{ij}}{U_i U_j}$$

где $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ – относительный угол сдвига фаз между векторами \hat{U}_i и \hat{U}_j .

Кроме того, $\underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jk} = \underline{C}_{kj}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{ji}$, поэтому окончательное выражение для потери мощности, имеем в виде:

$$\Delta \hat{S} = \Delta P + j \Delta Q = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{2j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} + \dots +$$

$$+ 2 \frac{(P_1 P_2 + Q_1 Q_2)}{U_1 U_2} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \cdot \cos \delta_{12} - 2 \frac{(P_1 Q_2 - P_2 Q_1)}{U_1 U_2} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \cdot \sin \delta_{12} + \dots \quad (17)$$

Отсюда, суммарные потери активной и реактивной мощности определяются после преобразования и разделения уравнения (17) на вещественные и мнимые составляющие, в виде:

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j1} \right] + 2 \frac{(P_1 P_2 + Q_1 Q_2)}{U_1 U_2} \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \right] \cdot \cos \delta_{12} -$$

$$- 2 \frac{(P_1 Q_2 - P_2 Q_1)}{U_1 U_2} \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j2} \right] \cdot \sin \delta_{12} + 2 \frac{(P_1 P_3 + Q_1 Q_3)}{U_1 U_3} \operatorname{Re} \left[\sum_{j=1}^m \underline{C}_{1j}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{j3} \right] \cdot \cos \delta_{13} -$$

$$- 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij} \underline{Z}_j \underline{C}_{ij})}{U_1 U_3} (P_1 Q_3 - Q_1 P_3) \sin \delta_{13} + \dots + 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_1 U_k} (P_1 P_k + Q_1 Q_k) \cos \delta_{1k} -$$

$$- 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_1 U_k} (P_1 Q_k - Q_1 P_k) \sin \delta_{1k} + \dots + \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j2})}{U_2^2} (P_2^2 + Q_2^2) +$$

$$+ 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_2 U_3} (P_2 P_3 + Q_2 Q_3) \cos \delta_{23} - 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_2 U_3} (P_2 Q_3 - Q_2 P_3) \sin \delta_{23} + \dots$$

$$+ 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_2 U_k} (P_2 P_k + Q_2 Q_k) \cos \delta_{2k} - 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_2 U_k} (P_2 Q_k - Q_2 P_k) \sin \delta_{2k} + \dots$$

$$+ \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_3^2} (P_3^2 + Q_3^2) + 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j4})}{U_3 U_4} (P_3 P_4 + Q_3 Q_4) \cos \delta_{34} -$$

$$- 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j4})}{U_3 U_4} (P_3 Q_4 - Q_3 P_4) \sin \delta_{34} + \dots + 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_3 U_k} (P_3 P_k + Q_3 Q_k) \cos \delta_{3k} -$$

$$- 2 \frac{\operatorname{Re}(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_3 U_k} (P_3 Q_k + Q_3 P_k) \sin \delta_{3k} + \dots \quad (18)$$

$$\Delta Q = \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j1})}{U_1^2} (P_1^2 + Q_1^2) + 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j2})}{U_1 U_2} (P_1 P_2 + Q_1 Q_2) \cos \delta_{12} -$$

$$- 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j2})}{U_1 U_2} (P_1 Q_2 - Q_1 P_2) \sin \delta_{12} + 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_1 U_3} (P_1 P_3 + Q_1 Q_3) \cos \delta_{13} -$$

$$- 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_1 U_3} (P_1 Q_3 - Q_1 P_3) \sin \delta_{13} + \dots + 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_1 U_k} (P_1 P_k + Q_1 Q_k) \cos \delta_{1k} -$$

$$- 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{1j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_1 U_k} (P_1 Q_k + Q_1 P_k) \sin \delta_{1k} + \dots + \frac{I_m(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j2})}{U_2^2} (P_2^2 + Q_2^2) +$$

$$+ 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_2 U_3} (P_2 P_3 + Q_2 Q_3) \cos \delta_{23} - 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_2 U_3} (P_2 Q_3 - Q_2 P_3) \sin \delta_{23} + \dots$$

$$+ 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_2 U_k} (P_2 P_k + Q_2 Q_k) \cos \delta_{2k} - 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{2j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_2 U_k} (P_2 Q_k + Q_2 P_k) \sin \delta_{2k} + \dots$$

$$+ \frac{I_m(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j3})}{U_3^2} (P_3^2 + Q_3^2) + 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j4})}{U_3 U_4} (P_3 P_4 + Q_3 Q_4) \cos \delta_{34} -$$

$$- 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{j4})}{U_3 U_4} (P_3 Q_4 + Q_3 P_4) \sin \delta_{34} + \dots + 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_3 U_k} (P_3 P_k + Q_3 Q_k) \cos \delta_{3k} -$$

$$- 2 \frac{I_m(\sum \underline{C}_{3j} \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_3 U_k} (P_3 Q_k + Q_3 P_k) \sin \delta_{3k} + \dots \quad (19)$$

Выражения (18), (19) могут быть записаны в виде:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \frac{\operatorname{Re}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{ji})}{U_i^2} (P_i^2 + Q_i^2) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \frac{\operatorname{Re}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_i U_k} (P_i P_k + Q_i Q_k) \cos \delta_{ik} -$$

$$- 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \frac{\operatorname{Re}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_i U_k} (P_i Q_k - Q_i P_k) \sin \delta_{ik}; \quad (20)$$

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n \frac{\operatorname{Im}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{ji})}{U_i^2} (P_i^2 + Q_i^2) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \frac{\operatorname{Im}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_i U_k} (P_i P_k + Q_i Q_k) \cos \delta_{ik} -$$

$$- 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \frac{\operatorname{Im}(\sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jk})}{U_i U_k} (P_i Q_k - Q_i P_k) \sin \delta_{ik}. \quad (21)$$

Если взаимные углы между векторами узловых напряжений незначительны, то можно упростить выражения для потери активной и реактивной мощности и записать следующим образом:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{\operatorname{Re}(\sum_{j=1}^m C_{ij}^t Z_j C_{jk})}{U_i U_k} (P_i P_k + Q_i Q_k); \quad (22)$$

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{\operatorname{Im}(\sum_{j=1}^m C_{ij}^t Z_j C_{jk})}{U_i U_k} (P_i P_k + Q_i Q_k). \quad (23)$$

Таким образом, выше полученные выражения для потери активной и реактивной мощности в сети, могут быть реализованы при известной матрице коэффициентов распределения узловых токов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мельников, Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей. – М. : Энергия, 1972. – 232 с.
- 2 Ахметбаев, Д. С. Метод расчета установившихся режимов электрических сетей на основе коэффициентов токораспределения // Электричество. – М., 2010. – №11. – С.23-27.
- 3 Ахметбаев, Д. С. Использование топологического метода к анализу стационарных режимов сложных электрических сетей // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – М., 2010. – №9. – С. 19-26.

Материал поступил в редакцию 14.09.15.

Д. С. Ахметбаев, А. Д. Арапбеков, А. Т. Ақшалов

Күрделі электрлік желілердің тұрақты режимдерін дәл есептейтін оперативтік әдіс

С.Сейфуллин атындағы

Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ.

Материал 14.09.15 баспаға түсті.

D. S. Akhmetbayev, A. D. Arapbekov, A. T. Akshalov

The efficient method of the steady state exact calculation in the complicated electrical networks

S. Seifullin Kazakh AgroTechnical university, Astana.

Material received on 14.09.15.

Мақалада түйіндік токтардың таралу коэффициенттерінің негізінде алынған, күрделі электр желісінің режимдік параметрлерін дәл, тез есептейтін түйіндік теңдеулердің математикалық бейнесі келтірілген.

This article contains the mathematical description of node equations for complicated electrical networks, providing an effective and precise calculation of the state parameters on the base of the matrices of the node current distribution coefficients.

УДК 539.6:621.926

И. И. Злотников¹, И. В. Захаров²

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ В МИКРОТРЕЩИНЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

На основе электромагнитной теории молекулярного взаимодействия тел проанализировано поведение технологической жидкости в микротрещине, образующейся при механическом разрушении минералов. Предложена формула для расчета силы взаимодействия поверхностей материала, разделенных микротрещиной. Показано, что сила взаимодействия поверхностей микротрещины зависит от соотношения между диэлектрическими характеристиками породы и жидкости. Рассмотрена применимость предложенной формулы для прогнозирования эффективности использования конкретных жидкостей при механической обработке горных пород и минералов.

Ключевые слова: технологическая жидкость, молекулярные силы, диспергирование, диэлектрическая проницаемость.

Введение. Разрушение горных пород и минералов является определяющим процессом многих современных технологий: измельчение полезных ископаемых при их обогащении, бурение скважин, распиловка и сверление камня, дробление щебня, диспергирование минералов для получения тонкодисперсных порошков используемых при изготовлении керамики, пигментов, композиционных материалов. Разрушение является сложным физико-механическим и физико-химическим процессом, на протекание которого влияют химический и фазовый состав, структура, анизотропия, распределение напряжений, окружающая среда, параметры процесса разрушения и многие другие факторы.

Одним из наиболее перспективных направлений в совершенствовании процесса разрушения горных пород является использование технологических жидкостей: буровых растворов, смазочно-охлаждающих и расклинивающих жидкостей, поверхностно-активных веществ. Жидкость, проникая в поровые каналы, имеющиеся в породе, и микротрещины, возникающие в твердом теле при воздействии рабочего инструмента, создает в них расклинивающее давление (эффект Ребиндера [1]), способствуя снижению усилия разрушения материала, что в конечном итоге приводит к увеличению производительности и снижению энергозатратности процесса. Молекулы жидкости, стремясь покрыть всю поверхность тела, проникают в зародышевые трещины и дефекты, мигрируя по их стенкам со скоростью, превышающей скорость всасывания жидкости в зазор. Снижение поверхностной энергии микротрещин σ внутри материала приводит к облегчению их развития под действием механических напряжений и смещению критерия Гриффитса для разрушающего напряжения P в сторону более низких значений:

$$P = k \cdot (\sigma \cdot E / L)^{1/2},$$

где k – коэффициент пропорциональности, E – модуль упругости материала, L – длина трещины.

Кроме того, когда молекулы жидкости достигают зон, где ширина микротрещин примерно равна размеру молекул, адсорбционный слой своим давлением стремится расклинить эту трещину для дальнейшего продвижения молекул. Давление на стенки микротрещины у ее вершины может достигать до 10 ГПа [2].

Из всего вышесказанного следует, что технологическая жидкость, используемая при разрушении и измельчении горных пород и минералов любым способом, должна обладать не только высокой смачивающей способностью (низкой поверхностной энергией), но и снижать силы молекулярного взаимодействия между вновь возникающими при прорастании микротрещин поверхностями, способствуя тем самым снижению механической прочности материала.

Цель работы – на основе электромагнитной теории молекулярных сил проанализировать поведение технологической жидкости в микротрещинах, образующихся при механическом воздействии инструмента на горную породу и использовать полученные результаты для прогнозирования перспективности применения конкретных жидкостей в процессах разрушения горных пород и минералов.

Постановка вопроса. Наиболее общим способом расчета молекулярных сил взаимодействия двух твердых поверхностей является электромагнитная теория Е. М. Лифшица развитая в работах [3-5]. В данных работах было

получено общее выражение для силы F , действующей на единицу площади каждого из двух конденсированных тел, которые разделены зазором шириной l , заполненным третьей средой.

Хотя формулы, приведенные в этих работах сложны, современные методы вычислительной техники позволяют рассчитать силу F , если известны зависимости диэлектрических проницаемостей рассматриваемых веществ от мнимой частоты $\varepsilon_{1,2,3}(i\xi)$. Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(i\xi)$ связана с мнимой частью комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon''(\omega)$ соотношением Крамерса-Кронига [5, 6]:

$$\varepsilon(i\xi) = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon''(\omega)\omega}{\omega^2 + \xi^2} d\omega. \quad (1)$$

Таким образом, функции $\varepsilon''(\omega)$ являются достаточно полными характеристиками твердых тел, которые определяют силу молекулярного притяжения между ними. Однако эти аналитические зависимости плохо известны для большинства материалов. Поэтому для прогнозирования взаимодействия между телами используют различные приближенные формулы.

Когда зазор между телами l мал по сравнению с длинами волн λ , характерными для спектров поглощения взаимодействующих тел (нет запаздывания электромагнитных волн), и температуры малы, т.е. выполняется условие $\frac{kT}{\hbar c} \ll 1$ формула для силы взаимодействия, согласно данной теории имеет вид [4]:

$$F(l) = \frac{\hbar}{8\pi^2 l^3} \int_0^{\infty} \frac{[\varepsilon_1(i\xi) - \varepsilon_3(i\xi)][\varepsilon_2(i\xi) - \varepsilon_3(i\xi)]}{[\varepsilon_1(i\xi) + \varepsilon_3(i\xi)][\varepsilon_2(i\xi) + \varepsilon_3(i\xi)]} d\xi. \quad (2)$$

Как отмечалось выше зависимости $\varepsilon''(\omega)$, а следовательно и $\varepsilon_{1,2,3}(i\xi)$ плохо известны для большинства материалов, поэтому в различных исследованиях предлагаются приближенные формулы для расчета силы взаимодействия. Так в монографии [7] были получены приближенные формулы для расчета ван-дер-ваальсовых сил, действующих между двумя телами, разделенными зазором l , заполненным жидкостью, в которых принимается во внимание поглощение только в области оптических частот (видимая ультрафиолетовая и инфракрасная области спектра). С учетом сказанного была получена формула, удобная для практического применения [7]:

$$F(l) = \frac{\hbar}{16\pi^3 \sqrt{2}} \frac{\alpha_0 (\varepsilon_{10} - \varepsilon_{30})(\varepsilon_{20} - \varepsilon_{30})}{(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30})^{1/2} (\varepsilon_{20} + \varepsilon_{30})^{1/2} [(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30})^{1/2} + (\varepsilon_{20} + \varepsilon_{30})^{1/2}]}, \quad (3)$$

где ω_0 – главная частота поглощения всех трех диэлектриков, ε_{10} , ε_{20} , – статические диэлектрические проницаемости двух твердых тел, а ε_{30} – диэлектрическая проницаемость пленки жидкости.

В той же монографии [7] рекомендуется при расчетах вместо статических значений диэлектрических постоянных использовать их значения в рассматриваемом оптическом диапазоне $\varepsilon = n^2$:

$$F(l) = \frac{\hbar}{16\pi^3 \sqrt{2}} \frac{\omega_0(n_1^2 - n_3^2)(n_2^2 - n_3^2)}{(n_1^2 + n_3^2)^{1/2} (n_2^2 + n_3^2)^{1/2} [(n_1^2 + n_3^2)^{1/2} + (n_2^2 + n_3^2)^{1/2}]},$$

где $n_{1,2,3}$ – показатели преломления соответствующих диэлектриков на частоте ω_0 .

При разрушении материала оба взаимодействующих твердых тела одинаковы (стенки микротрещины, образующиеся в веществе под режущим инструментом) и формула (3) принимает вид:

$$F(l) = \frac{\hbar}{32\pi l^3 \sqrt{2}} \frac{\omega_0(n_1^2 - n_3^2)^2}{(n_1^2 + n_3^2)^{3/2}}, \quad (4)$$

где n_1 – показатель преломления твердого тела, n_3 – показатель преломления применяемой технологической жидкости в области рассматриваемых частот поглощения. Из данной формулы следует, что при условии $n_1 = n_3$ сила взаимодействия образующихся новых поверхностей микротрещины будет минимальна и технологическая жидкость, таким образом, обеспечит максимальный эффект понижения прочности материала.

Если сравнить коэффициенты преломления кварца, стекла, а также некоторых минералов и жидкостей, приведенные в таблице 1, то можно сделать вывод что в качестве технологической жидкости для разрушения (измельчения, резки, сверления), кварца и стекла наиболее подходит глицерин.

Таблица 1 – Значения диэлектрической проницаемости ε_0 и показателя преломления n_D веществ при температуре 20 °С

Вещество	ε_0	n_D
Кварц плавленный	3,85	1,46
Стекло листовое	4,9-5,1	1,47
Вода	80,5	1,33
Глицерин	42,5	1,47
Этиленгликоль	37,7	1,43
Ацетон	20,8	1,36
Этиловый спирт	24,3	1,36

Парафин жидкий (фракция C ₁₀ -C ₁₃)	1,95	1,48
Керосин (фракция C ₁₂ -C ₁₅)	2,10	1,44
Бензол	2,28	1,50
Толуол	2,38	1,50

Однако из литературных источников известно, что глицерин не пригоден для этих целей. В то же время керосин очень хорошо зарекомендовал себя при резке стекла [8], хотя его показатель преломления ($n = 1,44$) значительно отличается от показателя преломления стекла. Так же известно, что дробление горных пород в таких жидкостях как керосин или соляровое масло позволяет значительно повысить производительность процесса дробления [9].

Из вышесказанного следует, что формула (4) является слишком приближенной, не отражает всех особенностей молекулярного взаимодействия, происходящего в узком зазоре между стеклянными поверхностями заполненном жидкостью и требует дальнейшего уточнения.

В связи с вышеизложенным, была предпринята попытка более детального анализа поведения жидкости в узком зазоре и вывода более точных аналитических зависимостей, связывающих силу молекулярного взаимодействия поверхностей и их диэлектрические и оптические характеристики.

Анализ поведения жидкости в узком зазоре. Как отмечалось выше, спектры поглощения диэлектриков имеют вид полос, где наряду с широкими областями прозрачности существуют зоны поглощения. Если пренебречь имеющимся малым поглощением на участках прозрачности, а в полосе поглощения функцию $\varepsilon''(\omega)$ аппроксимировать достаточно простой, но близкой к реальной аналитической зависимостью, то по формуле Крамерса-Кронига (1) можно вычислить зависимость $\varepsilon(i\xi)$, по которой найти силу взаимодействия поверхностей. Физически обоснованным будет представление зависимости $\varepsilon''(\omega)$ в виде известной формулы Дебая [10]:

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2} \cdot \omega \tau. \quad (5)$$

где ε_0 – статическая диэлектрическая проницаемость, ε_∞ – высокочастотный предел, к которому стремится действительная часть диэлектрической проницаемости с увеличением частоты; τ – время релаксации, которое связано с резонансной частотой ω_0 формулой $\tau = 1/\omega_0$. Сказанное выше иллюстрирует рисунок 1.

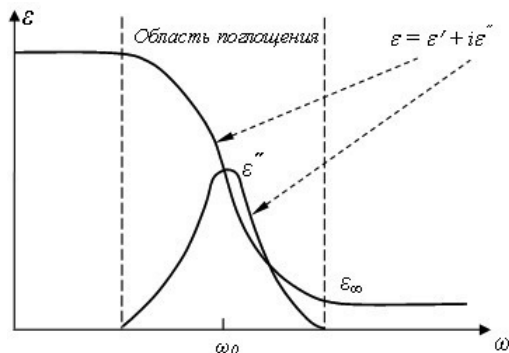


Рисунок 1 – Зависимость действительной ε' и мнимой частей ε'' комплексной диэлектрической проницаемости ε от частоты

Будем считать, что взаимодействующие тела имеют одну общую интенсивную полосу поглощения ω_0 . Обозначив для краткости $\varepsilon^* = \varepsilon_0 - \varepsilon_\infty$ и подставив выражение (5) в формулу (1) проведем интегрирование:

$$\varepsilon(i\xi) = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \cdot \frac{d\omega}{\omega^2 + \xi^2} = 1 + \frac{2\varepsilon^*}{\pi} \cdot \frac{\tau}{1 + \tau^2 \xi^2} \left(\int_0^\infty \frac{d\omega}{1 + \omega^2 \tau^2} - \int_0^\infty \frac{\xi^2 d\omega}{\omega^2 + \xi^2} \right) = 1 + \frac{\varepsilon^*(1 - \tau\xi)}{1 + \tau^2 \xi^2}. \quad (6)$$

Если в спектрах взаимодействующих тел присутствует несколько полос сильного поглощения, то в полученной формуле их вклад будет суммироваться:

$$\varepsilon(i\xi) = \sum_n \left(1 + \frac{\varepsilon_n^*(1 - \tau_n \xi)}{1 + \tau_n^2 \xi^2} \right). \quad (7)$$

Подставив полученное выражение (6) в формулу (2) т.е. ограничившись предположением об одной полосе сильного поглощения и учитывая, что при разрушении тела $\varepsilon_1(i\xi) = \varepsilon_2(i\xi)$, получаем:

$$F(l) = \frac{\hbar}{8\pi^2 l^3} \int_0^\infty \left(\frac{\varepsilon_1(i\xi) - \varepsilon_3(i\xi)}{\varepsilon_1(i\xi) + \varepsilon_3(i\xi)} \right)^2 d\xi = \frac{\hbar}{8\pi^2 l^3} \cdot \frac{(\varepsilon_1^* - \varepsilon_3^*)^2}{2\tau} \cdot \frac{1}{\varepsilon_1^* + \varepsilon_3^* + 2}.$$

Возвращаясь к обозначению $\varepsilon^* = \varepsilon_0 - \varepsilon_\infty$ и $\tau = 1/\omega_0$ окончательно получаем:

$$F(l) = \frac{\hbar \omega_0}{16\pi^2 l^3} \cdot \frac{(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{30} + \varepsilon_{3\infty} - \varepsilon_{1\infty})^2}{(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30} - \varepsilon_{1\infty} - \varepsilon_{3\infty} + 2)}. \quad (8)$$

При проведении количественных вычислений вместо высокочастотного предела ε_∞ можно использовать квадрат оптического показателя преломления n^2 [11]:

$$F(l) = \frac{\hbar \omega_0}{16\pi^2 l^3} \cdot \frac{(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{30} + n_3^2 - n_1^2)^2}{(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30} - n_1^2 - n_3^2 + 2)}. \quad (9)$$

Сравнение формул (4) и (9) показывает, что сила взаимодействия двух поверхностей твердого тела, разделенных тонким слоем жидкости, в равной степени зависит как от соотношения между показателями преломления, так и значениями статических диэлектрических проницаемостей твердых тел и жидкости. Исходя из формулы 9, становится понятным, почему такие жидкости как вода, глицерин (таблица 1) не пригодны в качестве технологических жидкостей для измельчения минеральных веществ. С другой стороны из формулы (9) и данных таблицы 1 следует, что для измельчения например стекла и кварца наименьшую силу притяжения, а соответственно и максимальный расклинивающий эффект обеспечивают углеводородные жидкости – керосин, жидкий парафин.

Таблица 2 – Фракционный состав продуктов, мас. %

Фракция, мкм	Используемая технологическая жидкость			
	Без жидкости	Вода	Ацетон	Жидкий парафин
200-315	3	2	1	Следы
140-200	8	6	5	1
100-140	26	28	24	14
80-100	22	25	31	29
63-80	17	20	18	31
50-63	12	11	10	21
менее 50	10	8	11	14

Для проверки полученных закономерностей были проведены эксперименты по диспергированию кварцевого стекла с использованием различных жидкостей (вода, жидкий парафин, ацетон). Для измельчения образцов использовали планетарную мельницу «Пулверизетте-5». В размольный стакан засыпали шары и порошок кварцевого стекла фракции

200-315 мкм, который смачивали выбранной жидкостью. С помощью набора сит определяли фракционный состав порошков после 30 мин помола. Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 2.

Как следует из представленных данных, использование жидкого парафина в качестве технологической жидкости позволяет интенсифицировать процесс диспергирования (значительно увеличить выход более мелких фракций).

Заклучение. Таким образом, чтобы находящаяся в микротрещине растущей под обрабатывающем инструментом при разрушении твердого тела технологическая жидкость обеспечивала минимальную силу притяжения поверхностей трещины необходимо:

– отсутствие взаимно перекрывающихся полос поглощения в спектрах твердого тела и жидкости, а при невозможности обеспечения этого условия ширина зоны перекрытия полос должна быть минимальной;

– если имеется выраженное взаимное перекрытие полос, то сила взаимодействия зависит от соотношения между показателями преломления и значениями статических диэлектрических проницаемостей твердого тела и жидкости;

– перспективными технологическими жидкостями, ускоряющими процесс разрушения и диспергирования минеральных веществ, являются жидкие парафины линейного строения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Ребиндер, П. А.**, Поверхностные явления в твердых телах в процессах из деформации и разрушения / П. А. Ребиндер, Е. Д. Щукин // Успехи физич. наук. – 1972. – Т. 108, вып. 1. – С. 3-42.

2 **Гаркунов, Д. Н.** Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.

3 **Лифшиц, Е. М.** Теория молекулярных сил притяжения между твердыми телами / Е. М. Лифшиц // ЖЭТФ. – 1955 – Т. 29, вып. 1. – С. 29-110.

4 **Дерягин, Б. В.** Общая теория ван-дер-ваальсовых сил / Б. В. Дерягин, И. И. Абрикова, Е. М. Лифшиц, // Успехи физич. наук. – 1961. – Т. 73, вып. 3. – С. 381-422.

5 **Дзялошинский, И. Е.** Общая теория ван-дер-ваальсовых сил / И. Е. Дзялошинский, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский // Успехи физич. наук. – 1961. – Т. 73, вып. 3. – С. 381-422.

6 **Ландау, Л. Д.** Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1982. – 624 с.

7 **Израелашвили, Дж.** Межмолекулярные и поверхностные силы / Дж. Израелашвили. – М. : Научный мир, 2011. – 457 с.

8 **Овчинникова, Е. И., Литвинов В. А., Хазова Т. А.** Оптимальные параметры резки стекла твердосплавным роликом / Е. И. Овчинникова, В. А. Литвинов, Т. А. Хазова // Стекло и керамика. – 1984. – № 1. – С. 12-14.

9 **Зомбек, П. В.** Электроимпульсная технология получения щебня и его использование в асфальтобетонных смесях: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 27.12.05 / П. В. Зомбек; ТГАСУ. – Томск, 2005. – 24 с.

10 **Поплавко, Ю. М.** Физика диэлектриков / Ю. М. Поплавко. – Киев : Вища школа, 1980. – 400 с.

11 **Вукс, М. Ф.** Электрические и оптические свойства молекул и конденсированных сред / М. Ф. Вукс. – Л. : ЛГУ, 1984. – 334 с.

Материал поступил в редакцию 27.08.15.

И. И. Злотников¹, И. В. Захаров²

Тау жыныстары мен минералдарының қирауы кезіндегі микросызаттағы технологиялық сұйықтықтың мінез ерекшеліктерін зерттеу

¹П.О. Сухов атындағы

Гомель мемлекеттік техникалық университеті, Гомель қ., Беларусь;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 27.08.15 баспаға түсті.

I. I. Zlotnikov¹, I. V. Zakharov²

Investigation of processed fluid conduct in microcracks in rock and minerals failure

¹P. O. Sukhoi, Gomel State Technical University, Gomel, Belarus;

²S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 27.08.15.

Денелердің молекулярлық өзара іс-әрекетінің электрмагниттік теориясы негізінде, минералдардың механикалық қирауы кезінде қалыптасқан микросызаттағы технологиялық сұйықтықтың мінезі талданды. Микросызатпен бөлінген материал беттерінің өзара іс-әрекет күшін есептеу үшін формула ұсынылған. Микросызат беттерінің өзара іс-әрекет күші жыныстар мен минералдардың диэлектрлік сипаттамалары арасындағы қатынасқа тәуелді екені көрсетілген. Тау жыныстары мен минералдарын механикалық оңдеу кезіндегі нақты сұйықтықтарды пайдалану тиімділігін болжауға ұсынылған формуланың қолданылуы қарастырылған.

On the basis of the electromagnetic theory of molecular interaction of bodies there was analyzed the behavior of the processed fluid in the microcracks formed by mechanical destruction of minerals. The formula was offered for calculating the interaction force of surface material separated by microcracks. It was shown that the strength of surface microcracks interaction depends on the relationship between the dielectric characteristics of the rocks and fluids. The applicability of the proposed formula for predicting the effectiveness of specific fluids in machining of rocks and minerals.

УДК 621.316.925.1

Д. Д. Исабеков

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

УСТАНОВКА ПО ПРОВЕРКЕ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРО-ПЕРЕДАЧ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

В настоящей статье автор предлагает применение микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики для расширения комплекса лабораторно-практических занятий.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, токовые защиты нулевой последовательности линий электропередач, микропроцессорное реле токовой защиты, автоматизированная система дистанционного управления электроснабжением (АСДУЭС).

Как известно релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная работа энергосистем. Она тесно связана с другими видами автоматики, предназначенной для предотвращения развития аварийных нарушений и быстрого восстановления нормального режима работы ЭЭС и электроснабжения потребителей: автоматического повторного включения (АПВ), автоматического включения резервных источников питания (АВР), автоматической частотной разгрузки (АЧР) и другие.

В понятие релейной защиты объединяются защиты всех элементов электрической цепи.

Основной задачей построения релейной защиты является обеспечение эффективного функционирования при любых видах повреждений, предотвращение развития аварий и значительных разрушений защищаемого оборудования, а также предотвращение нарушений устойчивости в энергосистеме.

Цифровые устройства РЗ различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи. Центральным узлом цифрового устройства является микроЭВМ, которая через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов осуществляется сопряжение микроЭВМ (микропроцессора) с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором. Протекание больших токов, вызванных внутренними или внешними короткими замыканиями (КЗ) может вызвать при несвоевременном отключении, не только повреждения токоведущих частей, но и конструктивные разрушения элементов силового электрооборудования. Сквозные сверхтоки могут вывести из строя исправное на момент КЗ оборудование соседних участков. Поэтому защитой от сверхтоков КЗ должно обеспечиваться быстрое отключение каждого энергообъекта в электрической цепи.

Основными видами защит при этом являются токовые, дифференциальные, дистанционные. Конкретный выбор вида защиты зависит от мощности, типа и назначения всевозможных условий и режимов работы электрооборудования и элементов электрической цепи. Понижение напряжения также нарушает нормальную работу потребителей электроэнергии и устойчивость параллельной работы ЭС энергосистемы (ЭСС).

С помощью микропроцессорных устройств релейной защиты можно создать автоматизированную систему дистанционного управления электроснабжением предприятия (АСДУЭС).

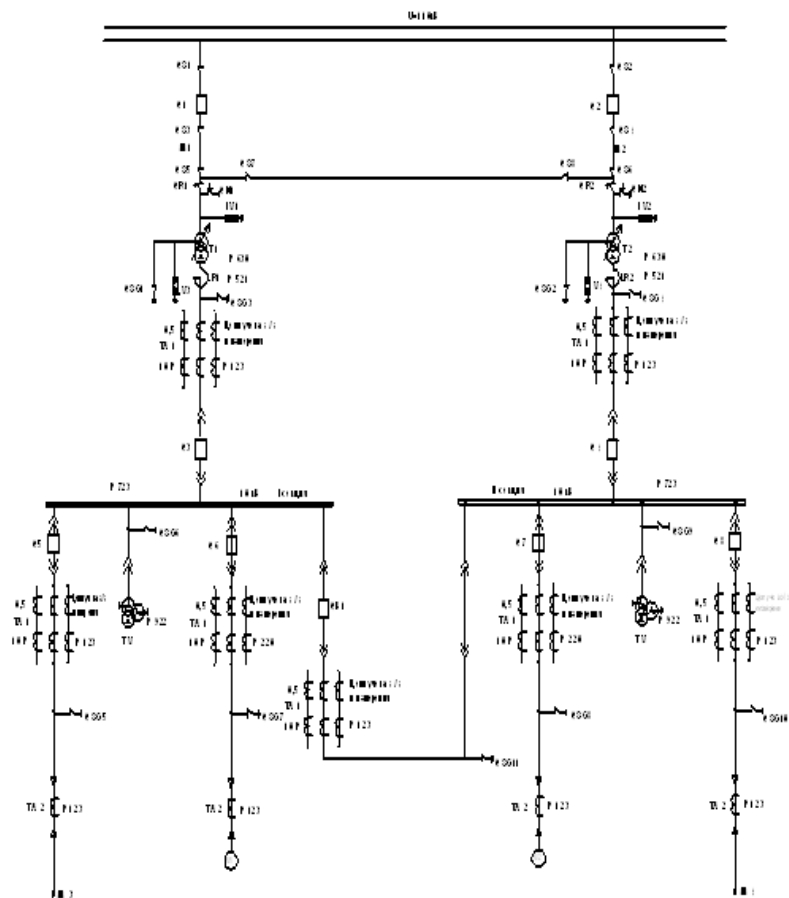


Рисунок 1 – Релейная защита и автоматика, выполненная на базе микропроцессорных устройств реле серии MiCOM

Особенностью создания «АСДУ ЭС» предприятия с применением, к примеру контроллеров фирмы «TRIEI», с протоколированием и архивированием информации, необходимой оперативному персоналу взамен электромеханических реле, может быть следующее:

- 1) замена «старой» существующей телемеханики на подстанциях предприятий;
- 2) расчеты и отображение данных со «старой» телемеханики реализовать в более современную и действующую информационно-управляющую систему (ИУС) предприятия;

3) создание отсутствующих (возможно) контролируемых пунктов (КП) в части распределительных пунктов (РП) предприятия;

4) обмен данными между КП и пунктами управления (ПУ) в составе вводимой «АСДУ ЭС» реализовать в разветвленную ЛВС завода [2, 36 с].

В процессе ввода в работу «АСДУ ЭС» дополнительно может быть реализовано:

- алгоритм предварительной обработки данных, которые передаются в информационно-управляющую систему для дальнейшей обработки и отображения потребителям;

- синхронизация времени в устройствах РЗА по времени контролируемых пунктов, а астрономическое время контролируемых пунктов синхронизируется с сервером «АСДУ ЭС» [2, 38 с].

Применение микропроцессорных устройств релейной защиты на предприятиях имеет также такие преимущества, как: сокращение до минимума времени обнаружения повреждения и устранения возможных отказов работы электрооборудования.

Все устройства концерна ALSTOM (микропроцессорные реле) оснащены интерфейсом RS485 для организации дистанционной связи (подключения к компьютерной сети удаленной передачи информации). Для подключения к сети микропроцессорные реле объединяются с помощью экранированной витой пары или оптоволоконного кабеля в группы до 32-х и подсоединяются к порту компьютера рабочей станции или шлюза через устройство конвертора-протокола. Далее все микропроцессорные (реле) устройства предприятия могут быть объединены в глобальную вычислительную сеть с переводом традиционных функций телемеханики на язык вычислительной техники. Таким образом, все измеренные значения и зафиксированные сигналы, могут быть направлены на соответствующий уровень управления, выданы на монитор оперативного персонала для отображения или сохранены в архиве – на магнитном носителе (с или без сортирования).

Дистанционное управление коммутационными аппаратами (включение и отключение) осуществляется оперативным персоналом также по вычислительной сети путем управления срабатыванием соответствующих выходных реле микропроцессорных устройств. Также дистанционно персоналом службы РЗА может быть произведено изменение уставок защит, а также переключение с одной их группы на другую. Любое дистанционное управление защищается паролем соответствующего уровня доступа. Таким образом, цифровые реле позволяют создавать локальные (на одном объекте) или глобальные (на предприятии) автоматизированные системы управления электрическими сетями.

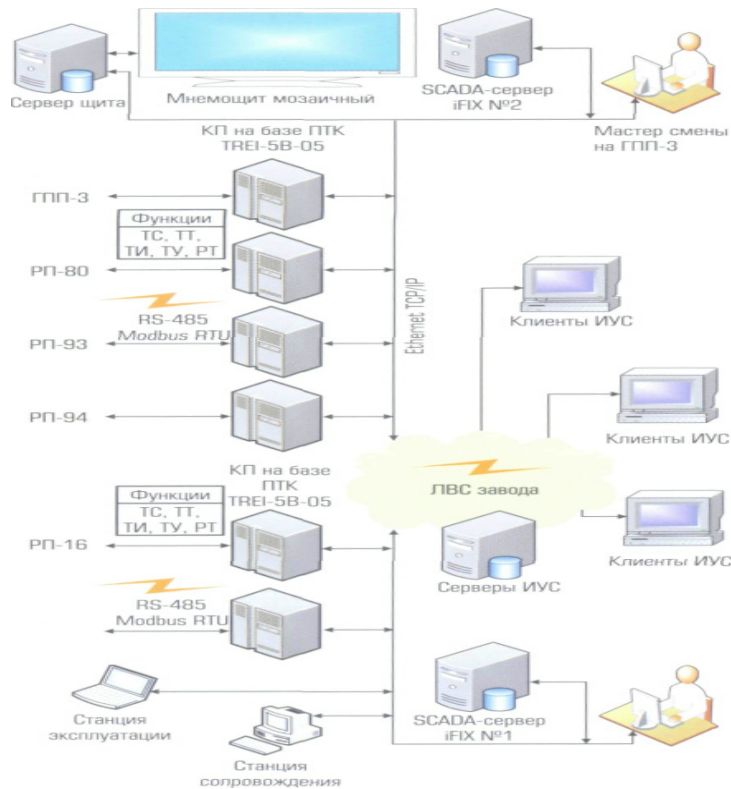


Рисунок 2 – Структурная схема «АСДУ ЭС» промышленного предприятия

Электрическая схема соединений для проведения эксперимента по проверке токовой защиты нулевой последовательности линий электропередач с применением микропроцессорных устройств защит на базе реле MiCOM состоит из активной «P» и реактивной нагрузки «Q», которые через модели линий электропередач «W1» и «W2», выключатель «Q1» и «Q2», линейный реактор «LR» и трехфазную трансформаторную группу «Т» подключены к источнику питания «G». Выключатели «Q3» и «Q4» используются как короткозамыкатели и присоединены к шинам нагрузок. В начале линий электропередач включены два трансформатора тока (на фазный ток фаз «А» и «С») блока измерительных трансформаторов тока. Вторичные обмотки трансформаторов тока блока подключены к микропроцессорному реле.

Установка по проверке токовой защиты нулевой последовательности линии электропередач от замыканий на землю имеет источник питания «G», который с помощью выключателя «Q1», соединен с линией электропередачи

«W1», данная линия электропередачи в свою очередь через линейный реактор «LR» соединена с силовым трансформатором «Т». К силовому трансформатору присоединена активная нагрузка «P». В начале линии электропередачи «W1» установлено микропроцессорное реле токовой защиты нулевой последовательности.

Установка работает следующим образом. Соединяют гнезда «ТК» источника G, гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте с гнездом «РЕ» источника G. Далее соединяют аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений. Переключатели режимов работы выключателя «Q1» устанавливают в положение «АВТ.», выключателя «Q2» – в положение «РУЧН.». Номинальное напряжение трансформатора выставляют равным 230 В. Устанавливают переключателями параметры линии электропередачи. Включают источник G. Включают выключатели «СЕТЬ» выключателей «Q1» и «Q2».

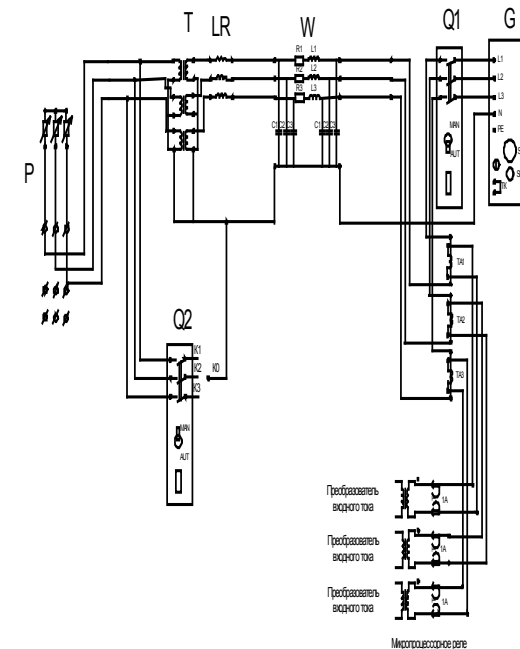


Рисунок 2 – Установка по проверке токовой защиты нулевой последовательности линии электропередач от замыканий на землю

Задают уставки на микропроцессорном реле токовой защиты и моделируют «Токовую защиту нулевой последовательности линии электропередач от замыканий на землю».

Задаваясь уставками по току на микропроцессорном реле в значениях от нуля до одного (пяти) ампер проводят опыт. Выключатель «Q2» является в данном случае элементом создающим короткое замыкание (короткозамыкателем). На появившееся короткое замыкание на землю срабатывает данное реле, отключая поврежденную линию электропередачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гуревич, В. И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы. – Москва : Инфра-Инженерия, 2011. – С. 336.
- 2 Журнал Автоматизация и IT в энергетике № 9 (38). – М., сентябрь 2012. – 78 с.
- 3 Журнал ИСУП № 6 (42). – М., июнь 2012. – 84 с.
- 4 Введение. Терминалы максимальной токовой защиты типа MiCOM P 123, www.rza.org.ua.
- 5 Руководство для пользователя терминалов МТЗ типа MiCOM. – www.rza.org.ua.
- 6 Руководство по наладке и эксплуатации терминалов МТЗ типа MiCOM. – www.rza.org.ua.
- 7 Карпеш, М. А. Учебный программно-методический комплекс «Релейная защита электрических систем». Руководство по выполнению базовых экспериментов. Под редакцией к.т.н. П. Н. Сенигова. – Челябинск : ООО «Учебная техника», 2003. – С. 257.

Материал поступил в редакцию 30.07.15.

Д. Д. Исабеков

Электрберіліс желінің жерге тұйықталудан нөлдік тізбектерін максимал тоқты қорғау бойынша тексеру құрылымы

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 30.07.15 баспаға түсті.

D. D. Isabekov

Installation for verification of residual power line's overcurrent protection from ground fault

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 30.07.15.

Бұл мақалада, автор күрделі зертханалық және практикалық сабақтар кеңейту үшін микропроцессорлық релейлік қорғауды және автоматиканы пайдалануды ұсынады.

In this paper, the author proposes the use of microprocessor-based relay protection and automation for the extension of the complex laboratory and practical classes.

УДК 621.3

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов²,
А. П. Кислов³, В. П. Марковский⁴**

¹м.т.н., главный специалист СЭЗ «Химпарк Тараз», г. Шу; ²к.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», ³к.т.н., профессор, декан энергетического факультета, ⁴к.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроэнергетики», Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар

ОПТИМИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СЭЗ «ХИМ ПАРК ТАРАЗ»

В статье рассматриваются задачи и критерии оптимизации перекачки воды по водопроводам при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, магистральный насос, перекачивающая станция; структурно-параметрическая оптимизация, критерии оптимизации.

«Химический парк Тараз» – специальная экономическая зона, которая расположена в 15 км от города Шу Жамбылского района химического центра республики Казахстан. Инициатором данного проекта выступает ТОО «Объединённая химическая компания». На территории планируется создать не менее 16 новых химических производств общей стоимостью порядка 2,7 млрд долларов. Таким образом, будут созданы свыше 2,4 тысячи новых рабочих мест.

Предполагаемая общая производственная мощность предприятий СЭЗ более 2 млн. тонн химической продукции в год, включающей 25 наименований.

Водоснабжение с насосными станциями протяженностью -35,5 км из двух труб диаметром 630 мм (рис. 1). Максимальный расход водопотребления 27,3 м³/час по первой очереди развития СЭЗ и по второй очереди – 41 м³/час.



Рисунок 1 – Строительство водовода [1]

(<https://www.facebook.com/KaznexInvest/photos/pcb.606887486117156/606882806117624/?type=3&theater>)

На каждой насосной перекачивающей станции (НПС) обычно устанавливаются четыре насосных агрегата. Часть из них (не более трех) являются рабочими, а часть – резервными. Структурная схема НПС (на примере НПС 2), совмещенная со схемой ее электроснабжения и схемой водоснабжения, показана на рисунке 2.

Вода с выхода первого по потоку насоса Н1 поступает на прием второго насоса Н2 и т. д. При этом все насосы работают с одной подачей Q . Обратный клапан ОК, разделяющий и всасывающий, и напорные патрубки насоса пропускают жидкость в одном направлении, указанном на рисунке 2 стрелкой.

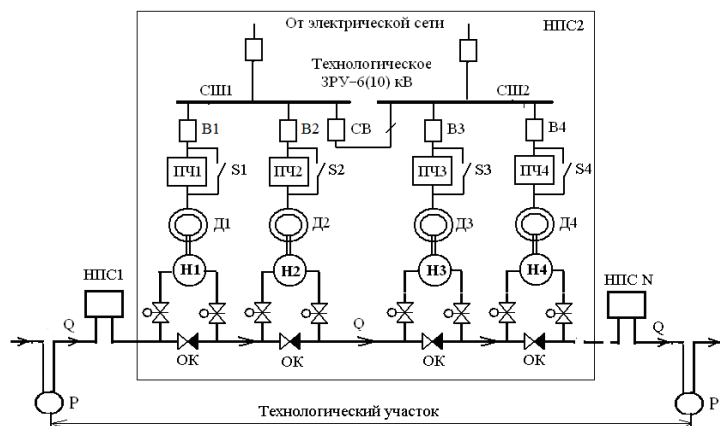


Рисунок 2 – Структурная схема технологического участка и НПС, совмещенная со схемой электроснабжения

Так как режимы работы всех насосов взаимосвязаны, то взаимосвязанными оказываются также режимы электродвигателей и преобразователей частоты всех НПС технологического участка. Таким образом, при оптимизации ТПП электродвигатели, преобразователи частоты и магистральные насосы технологического участка следует рассматривать как компоненты единого технологического процесса, образующие структуру технологического участка. Причем взаимосвязанными являются как состав компонент ТПП, так и режимы их работы. В зависимости от положения выключателей В1-В4 и разъединителей S1-S4 возможно несколько структур каждой из НПС, отличающихся сочетанием включенных насосов, электродвигателей и преобразователей частоты.

При отсутствии ЧРЭП оптимизация ТПП заключается в выборе числа и технических характеристик магистральных насосов каждой из НПС, проводится она для каждого из режимов перекачки. Критерием выбора, обычно, является минимум затрат электроэнергии на перекачку. Такая оптимизация является структурной, при которой выбирается оптимальная структура ТПП. Структурная оптимизация ТПП выполняется в два этапа. На первом этапе выполняется предварительный структурный синтез, например, на основе ограничений, накладываемых на параметры технологического режима. При этом структурный синтез ТПП на первом этапе – это процесс формирования технически допустимых структур с отсевом недопустимых и определение множества возможных (конкурирующих) структур. На втором этапе из множества возможных структур методом последовательного перебора вариантов выбирается рациональная структура с минимальным значением целевой функции.

При использовании ЧРЭП необходимо найти как оптимальную структуру ТПП (требуемое число включенных насосов на каждой из НПС, технические параметры насосов и электродвигателей, число включенных ПЧ на каждой из НПС и т.д.), так и параметры элементов, составляющих эту структуру (скорости вращения насосов и электродвигателей). Это означает, что для ТПП с ЧРЭП целесообразно использовать структурно-параметрическую оптимизацию, которая представляет собой комбинацию структурной и параметрической оптимизаций [1-3]. Структурная оптимизация при использовании ЧРЭП – это определение оптимального числа и сочетания включенных регулируемых и нерегулируемых насосов на каждой из НПС технологического участка. Параметрическая оптимизация ТПП при использовании частотного регулирования заключается в расчете оптимальных скоростей вращения каждого из магистральных насосов. Таким образом, при структурно-параметрической оптимизации неизвестными являются как структура ТПП, так и параметры компонентов и процесса. При этом поиск осуществляется в пространстве параметров и структур.

Разные структуры ТПП, вследствие различий в количестве и технических характеристиках, применяемых магистральных насосов, резервуарных парков и т.д., имеют различные выходные показатели (производительность трубопровода, напоры и загрузку магистральных насосов и электродвигателей, расход электроэнергии на перекачку, остаточный ресурс, расходы на техобслуживание и ремонт и др.). При этом для решения задачи структурного синтеза необходимо знать оценки качества ТПП, которые, можно получить только на основе параметрической оптимизации. С другой стороны, задача параметрической оптимизации может быть решена только для заданной структуры. Таким образом, задачу структурного синтеза и параметрической оптимизации следует рассматривать как единый процесс структурно-параметрической оптимизации.

Простейший алгоритм структурно-параметрической оптимизации представлен на рисунке 3.

В блоке «ввод исходных данных» в компьютерную модель вводятся исходные данные множества возможных структур технологического участка. Для каждой структуры выполняется параметрическая оптимизация, в процессе которой определяются значения скоростей вращения регулируемых магистральных насосов, при которых целевая функция достигает экстремума.

Параметрическая оптимизация выполняется последовательно для всех структур. В результате расчетов создается база данных по значениям целевой функции всех возможных структур. Оптимальная структура выбирается по наименьшему значению той же целевой функции.

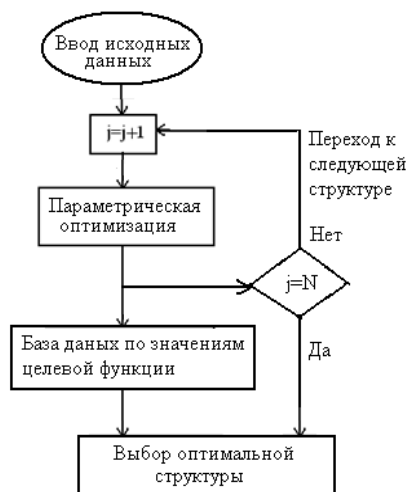


Рисунок 3 – Однокритериальная структурно-параметрическая оптимизация с последовательным перебором всех возможных структур

Блок-схема структурно-параметрической оптимизации ТПП с отдельными целевыми функциями (критериями) при структурной и параметрической оптимизациях, приведена на рисунке 4.

Схема содержит два циклических контура: контур параметрической оптимизации (ПО) с изменением параметров ТПП и контур структурной оптимизации (СО) с изменением структуры технологического участка. В контурах структурной и параметрической оптимизации могут использоваться как одинаковые, так и разные критерии оптимизации.

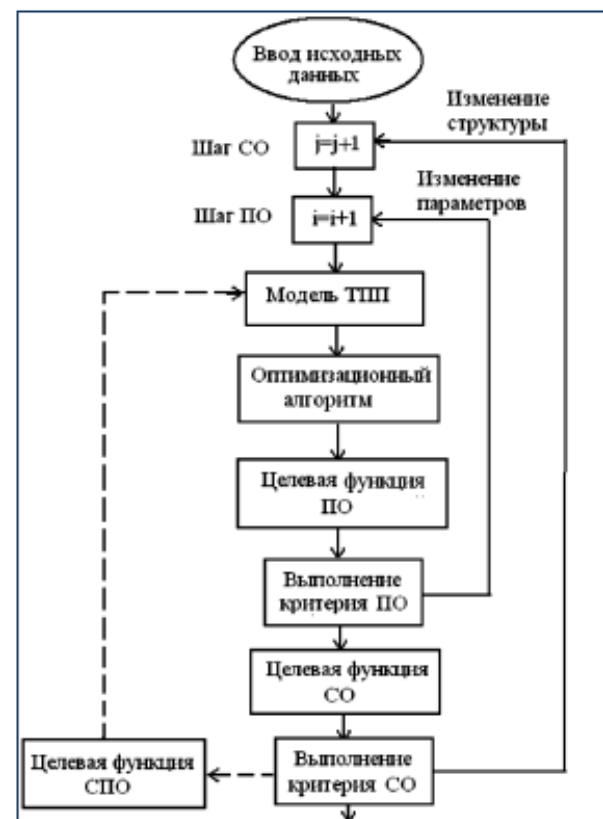


Рисунок 4 – Схема структурно-параметрической оптимизации ТПП: ПО и СО – параметрическая и структурная оптимизация

Пунктиром показан контур, в котором может использоваться обобщенный критерий структурно-параметрической оптимизации (СПО). В этом случае целевая функция должна определять возможность

реализации требуемого режима перекачки при минимальном числе частотно-регулируемых электроприводов.

Выбор критериев структурно-параметрической оптимизации во многом зависит от структуры технологического участка и метода регулирования режимов перекачки до установки ЧРЭП. В контуре структурной оптимизации целесообразно использование энергетических критериев. В то же время на этапе параметрической оптимизации энергетические критерии могут быть не эффективными. Так исследования, выполненные с использованием энергетических критериев, показали, что снижение расхода электроэнергии на перекачку при ЧРЭП может быть существенным только за счет исключения дросселирования [4-6]. Поэтому, если структура водовода содержит дросселирующие задвижки, то целесообразно использовать энергетические критерии [7-8]. Если же регулирование режимов выполняется путем циклической перекачки, то применение энергетических критериев для параметрической оптимизации и обоснования эффективности ЧРЭП будет малоэффективным [9-11]. Обусловлено это тем, что энергетический эффект от использования ЧРЭП взамен циклической перекачки обеспечивается только за счет повышения КПД магистральных насосов и электродвигателей. Однако экономия электроэнергии при этом в значительной мере нивелируется дополнительными потерями в преобразователе частоты. В этих случаях эффективнее использование критериев второй или третьей группы, например, минимума циклов изменения давления (циклов нагружения), максимума остаточного ресурса (максимума межремонтного периода), минимума расходов на техобслуживание и ремонт. Обусловлено это тем, что при циклической перекачке водовод работает с большим числом включений/отключений магистральных насосов. Изменение давлений в трубопроводе при таких переключениях приводит к ускоренному развитию дефектов в технологическом оборудовании и в теле трубы, снижению остаточного ресурса и увеличению затрат на ремонт. При ЧРЭП параметры технологических режимов перекачки изменяются плавно. Это позволяет уменьшить число переключений магистральных насосов и выполнять оптимизацию по критериям надежности трубопровода и снижения эксплуатационных расходов.

Выводы

1) При оптимизации ТПП с использованием ЧРЭП магистральных насосов необходимо найти как оптимальную структуру технологического участка, так и параметры компонентов (скорости вращения магистральных насосов), составляющих эту структуру. Это означает, что для оптимизации ТПП при использовании ЧРЭП необходимо использовать структурно-параметрическую оптимизацию, которая представляет собой комбинацию структурной и параметрической оптимизаций.

2) Предложена блок-схема структурно-параметрической оптимизации ТПП с двумя контурами оптимизации. В контурах структурной и параметрической оптимизаций могут использоваться как одинаковые, так и разные критерии оптимизации. Предложены принципы выбора критериев оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 <https://www.facebook.com/KaznexInvest/photos/pcb.606887486117156/606882806117624/?type=3&theater>

2 **Шапкенов, Б. К., Титов, М. В., Кайдар, А. Б.** Особенности энергоснабжения нефтегазовых объектов. Международная научно-техническая конференция в Тюменском нефтегазовом университете. – 2009. – С. 111-114.

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

4 **Шапкенов, Б. К.** Снижение рисков в системах электро-снабжения и коммуникациях категоризированных предприятий Материалы междунаро. науч-теоретич. конф. «III Торайгыровские чтения». – 3 том. – 2009. – С. 466-475.

5 **Шапкенов, Б. К.** Электрообогрев технологического оборудования на проекте «Тенгизшевройл». Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы». – Павлодар. – Т. 1. – 2009. – С. 79-84.

6 **Шапкенов, Б. К., Калиев, Б. З., Кайдар, А. Б.** «Синтез систем автоматического управления объектов с дрейфом параметров и их анализ». Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 20 – летию Независимости Республики Казахстан «III Аймауытов тағылымы», 22-23 ноябрь 2011 г. – Павлодар, Павлодарский Государственный Университет им. С. Торайгырова. – С. 296-307.

7 **Шапкенов, Б. К., Калиев, Б. З., Кайдар, А. Б., Садыков, А. К.** Анализ и параметрический синтез стохастических систем управления. Сборник докладов X Международной НПК «Проблемы и достижения в промышленной энергетике» в рамках выставки «Энергетика и электротехника – 2011» 16-18 ноября 2011г. – Екатеринбург, ЗАО «Уральские выставки», ЗАО «Энергопромышленная компания». 0,35 п.л.

8 **Shapkenov, B. K., Kaliev, B. Z., Kaidar, A. B.** Monograph «The Theory and Practice of energy converters». – Saarbrücken, Germany : Publishing house «LAP Lambert Academic Publishing», 2014. – 461 p.

9 Kaidar, A. B., Kislov, A. P., Markovsky, 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. Вестник ПГУ. – №4. – 2014. – P. 43 – 48.

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», 15-18 Juni 2015. – P. 251-258, Zürich, Schweiz.

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

Материал поступил в редакцию 14.09.15.

A. B. Қайдар¹, Б. Қ. Шапкенов², А. П. Кислов², В. П. Марковский²

Еркін экономикалық жағдаят аймақтың «Тараз химиялық бақ» сору станциясын ықшамдауы

¹ЕЭЖ «Тараз химиялық бағы», Шу қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 14.09.15 баспаға түсті.

A. B. Kaidar¹, B. K. Shapkenov², A. P. Kislov², V. P. Markowsky²

Pump optimization at special economic zone «Chemical Park Taraz»

¹SEZ «Chemical Park», Shu,

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 30.07.15.

Мақалада магистралдік органдарда электр қозғалышта жиілік-реттелетін су құбырлары бойынша суды ықшамдау есептері және белгілері қаралып отыр.

The article deals with the problem and the criteria for pumping water optimization in a waterpipe at the variable frequency drives of main pumps.

УДК 621.3

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов²,
А. П. Кислов³, В. П. Марковский⁴**

¹м.т.н., главный специалист СЭЗ «Химпарк Тараз», г. Шу; ²к.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика», ³к.т.н., профессор, декан энергетического факультета, ⁴к.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроэнергетики», Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ЗАЩИТЫ НА БАЗЕ ПЛИМ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В статье приведены сведения о микропроцессорной системе защиты, экспериментальных стендовых и промышленных испытаниях по проверке ее эффективности.

Ключевые слова: инвертор, интеллектуальный модуль питания, математическая модель, микропроцессорная защита.

Традиционные инверторные преобразователи напряжения (ИПН) являются одними из основных применяемых в промышленности. С тех пор как традиционные инверторные приводы используются в различных направлениях промышленности, особое значение в системе силовой электроники имеет надежность.

Однако, пассивная система защиты не может быть адекватной, если использовать инверторные преобразователи приводов ИПН при непрерывной работе или при подключении к двигателю с большой нагрузки, такой как конвейер или гибридное/электрическое транспортное средство.

Было бы лучше, если бы можно локализовать проблему и продолжить работу двигателя в однофазном режиме инвертора при снижении производительности двигателя.

Новое поколение силовых полупроводниковых выключателей для ИПН оснащаются интеллектуальным модулем питания (ИРМ) [1-5]. ИРМ обычно сочетает в себе один или трехфазный выпрямитель и трехфазные инверторы, систему управления приводом и цепи защиты в виде одного пакета.

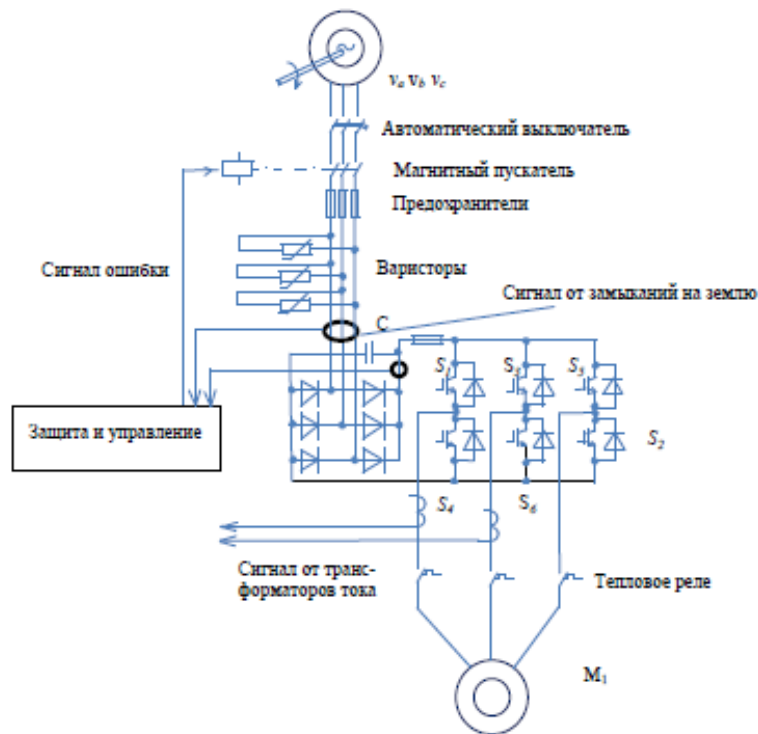


Рисунок 1 – Типовая защита инверторных преобразователей напряжения

Как правило, системы защиты на рисунке 1 входят в ЭВМ (ИПМ), за исключением реле перегрузки на выходной стороне. ИПМ обеспечивает меньший размер ИПН и более удобный интерфейс с блоком управления [1].

Тем не менее, система защиты инверторных преобразователей, как правило, выключают все сигналы на затворах транзисторах, как только обнаруживается неисправность; как следствие, преобразователь прекратит работу.

В [1] были исследованы возможные аварийные режимы преобразователей. На математической модели проверен метод идентификации возможных неисправностей и их последствий [2-5]. На основании математических моделей были проанализированы основные аварийные режимы, в частности, замыкание на землю на входе питания, короткое замыкание в выпрямительном диоде, размыкание цепи базы транзисторного инверторного привода и переключение инвертора в режим короткого замыкания. Исследования способствовали развитию методов обнаружения неисправностей, они

обеспечили обширные научно-экспериментальные данные для разработки зоны безопасной работы в ограниченном режиме инверторов, что очень важно для обеспечения высокой надежности. Кроме того, исследования обозначили имеющиеся сигналы, которые могут быть использованы для обнаружения конкретных неисправностей следующим образом [5]:

- входной ток выпрямителя для определения входного питания при однофазном замыкании на землю;
- ток и напряжение звена постоянного для мониторинга выпрямительных диодов при коротком замыкании и перенапряжении;
- входной ток двигателя для зондирования базы транзистора инвертора электропривода для определения состояния ошибочно разомкнутых или короткозамкнутых цепей.

В работах [2-5] авторов предоставлены алгоритмы работы и защиты инверторного преобразователя в различных режимах и результаты исследований в виде осциллограмм. Рассмотрены микропроцессорные устройства существующих аппаратов управления на микропроцессорной базе, отвечающих техническим требованиям и надежности. Рассматривалась аппаратура фирм Legrand, Siemens, MiCOM, Sepam, Vamp.

По техническим параметрам, по функциональным возможностям аппаратура указанных фирм позволяет осуществить необходимые отключение, переключение, калибровку. Однако стоимость данных изделий в 2-3 раза выше 8-20 тыс. условных единиц по сравнению с блоком БМРЗ-100 российской фирмы Механотроника. Архитектура БМРЗ-100 построена по ПЛИМ (программируемые логические микросхемы) технологии. Кроме этого программное обеспечение имеет «интерфейс» на русском языке и распространяется бесплатно.

Русифицированный интерфейс позволяет использовать для монтажа и наладки местный персонал, что позволяет снизить затраты на установку и обслуживание иностранными специалистами.

В 2011 г., при участии авторов, микропроцессорные системы защиты на базе БМРЗ-100 были установлены в ПФ ТОО «Кастинг» в количестве 3-х штук на трансформаторах дуговых печей ЭТЦНК 20000/10-76УЗ, что позволило:

- сократить количество ложных отключений за семь месяцев со 150 до 5;
- осуществлять мониторинг расход электрической энергии в реальном времени и корректировать настройки программы на дуговых печах для энергосбережения энергоресурсов 5-10,5%;
- обеспечить совместимость с системой АСКУ;
- обеспечить дистанционное и местное управление коммутационной аппаратурой.

Для отработки различных аварийных и опасных режимов и проверки эффективности защиты был изготовлен экспериментальный комплекс (рис. 2, 3).

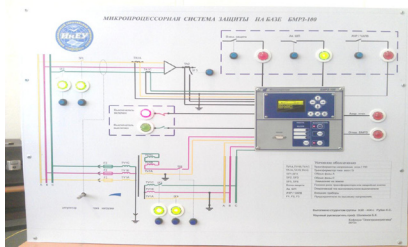


Рисунок 2 – Внешний вид микропроцессорной защиты систем электроснабжения и электрооборудования (без внешнего компьютера)

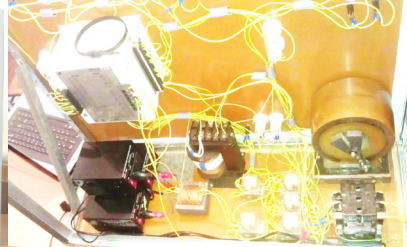


Рисунок 3 – Электроаппаратура необходимая для моделирования системы электроснабжения и аварий, установленная внутри стенда микропроцессорной защиты

На стенде, а в дальнейшем и на действующих объектах - дуговых печах ЭТЦНК 20000/10-76УЗ, были отработаны следующие функции БМРЗ-100:

1. Максимальная токовая защита.
2. Защита от замыканий на землю.
3. Защита от несимметричных режимов.
4. Индивидуальная защита минимального напряжения и защита от обрыва фазы.
5. Защита от несимметричного питания и неправильного чередования фаз.
6. Минимальная токовая защита от потери нагрузки.
7. Защита от блокировки ротора и затынутого пуска.
8. Тепловая модель двигателя.
9. Запрет пуска перегретого двигателя.
10. Ограничение количества пусков.
11. Контроль активной и реактивной мощности.
12. Резервирование отказов выключателя.
13. Логическая защита шин.
14. Регистрация временной диаграммы пусков (самозапусков).
15. Двухступенчатая дифференциальная защита двигателя.
16. Дифференциальная защита от замыканий на землю.
17. Защита пуска вычислением теплового импульса.
18. Автоматическое повторное включение двигателя.
19. Память аварийных событий.
20. Автоматическое осциллографирование пусков, самозапусков и аварий.

На рисунке 4 приведены установленные значения уставок в окне программы «Монитор» компьютера, работающего совместно с БМРЗ.

На рисунке 5 приведено окно программы «FastView» с осциллограммой мгновенных значений токов, напряжений. Изменением положения перемещаемой метки по оси времени можно определять цифровые значения параметров в любой момент времени, а также значения параметров сети в векторной форме (рис. 6). Неперемещаемый курсор указывает значения уставок.

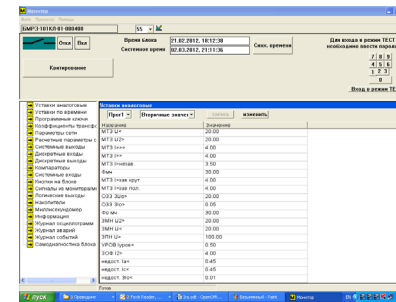


Рисунок 4 – Установленные значения уставок в окне программы «Монитор» компьютера, работающего совместно с БМРЗ

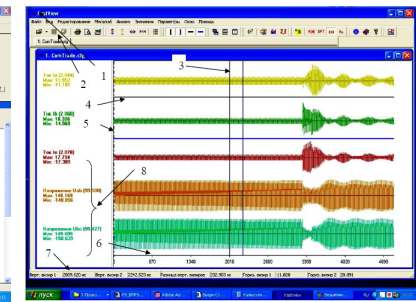


Рисунок 5 – Осциллограммы мгновенных значений токов, напряжений в окне программы «FastView»

На рисунок 5 цифрами обозначены:

- 1 – заголовок программы;
- 2 – панель инструментов для работы с файлом и осциллограммой;
- 3 – перемещаемые вертикальные визеры (курсоры);
- 4 – перемещаемые горизонтальные визеры (курсоры);
- 5 – неперемещаемая метка пуска защит;
- 6 – ось времени;
- 7 – панель состояния;
- 8 – состояние сигналов и действий.

В случае необходимости для анализа различных ситуаций из постоянной памяти БМРЗ можно вызвать осциллограммы различных событий, например, срабатывание максимальной токовой защиты (рис. 7).

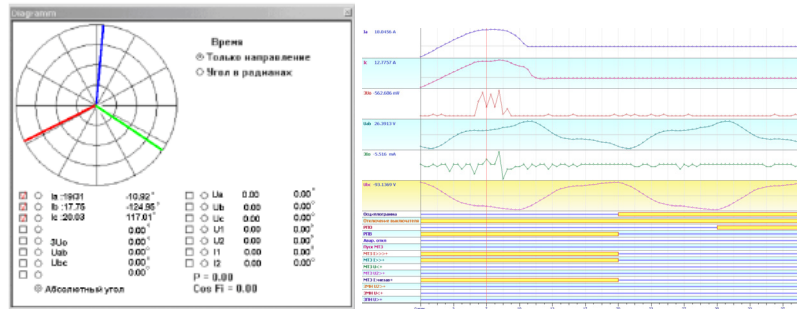


Рисунок 6 – Векторы мгновенных значений токов, напряжений

Рисунок 7 – Осциллограмма отключения тока короткого замыкания максимальной токовой защитой (МТЗ)

Микропроцессорные системы защиты на базе БМР3-100, установленные в ПФ ТОО «Кастинг», и разработанный экспериментальный комплекс по защите элементов системы электроснабжения, показали высокую надежность, безотказно работают с 2011 года.

В 2014-2015 году ряд технических решений авторов, в том числе и по микропроцессорным защитам нагрузок со сложным графиком нагрузок, преобразователей, автономным системам электроснабжения на возобновляемых источниках были приняты к внедрению на ТОО «Kazakhmys Smelting» и ООО «Донинвест».

Выводы.

Микропроцессорные системы защиты на базе БМР3-100 были установлены в ПФ ТОО «Кастинг» в количестве 3-х штук на трансформаторах дуговых печей ЭТЦНК 20000/10-76У3, что позволило:

- сократить количество ложных отключений за семь месяцев со 150 до 5;
- осуществлять мониторинг расход электрической энергии в реальном времени и корректировать настройки программы на дуговых печах для энергосбережения энергоресурсов 5-10,5 %;
- обеспечить совместимость с системой АСКУ;
- обеспечить дистанционное и местное управление коммутационной аппаратурой.

По результатам годичной эксплуатации руководству ПФ ТОО «Кастинг» было рекомендовано установить микропроцессорные системы защиты на всех отходящих от ГПП кабельных линиях.

С использованием этого комплекса в учебном процессе предоставляется возможность детального изучения процессов, протекающих при работе релейной защиты, что позволяет моделировать различные аварийные режимы и заранее разрабатывать алгоритмы действий для диспетчеров и автоматики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Shapkenov, B. K., Kaliev, B. Z., Kaidar, A. B. Monograph «The Theory and Practice of energy converters». – Saarbrucken, Germany : Publishing house «LAP Lambert Academic Publishing», 2014. – 461 p.

2 Kaidar, A. B., Kislov, A. P., Markovsky, 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. Вестник ПГУ. – №4. – 2014. – P. 43 – 48.

3 Kopyrin, V. S., Kaidar, A. B., Ivanova, E. V., Novozhilov, A. N., Kislov, A. P., Markowski, 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. Вестник ПГУ. – №4. – 2014. – P. 49 – 58.

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

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

Материал поступил в редакцию 14.09.15.

А. Б. Қайдар¹, Б. Қ. Шапкенов², А. П. Кислов², В. П. Марковский²

Электржабдықтарды қорғау үшін программаланған логикалық микросхемалар технологиясы базасында жылдам әрекет етуші микропроцессорлық қорғаныстар

¹ЕЭЖ «Тараз химиялы бағы», Шу қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университетін Павлодар қ.

Материал 14.09.15 баспаға түсті.

А. Б. Қайдар¹, Б. Қ. Шапкенов², А. П. Кислов², В. П. Марковский²

High-speed microprocessor-protection based on PLIM technologies to protect electric drivers

¹SEZ «Chemical Park», Shu;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 30.07.15.

Мақалада қорғау микропроцессорлық жүйе туралы мәліметтер келтірілген, оның тиімді тексеруі бойынша эксперименталді стенд және өнеркәсіптік сынаулар берілген.

This article contains information about microprocessor protection system, experimental and industrial test benches to verify its effectiveness.

УДК 620.9.004.18

В. В. Кибартас¹, Ю. В. Кибартене²

¹к.т.н. асоц. профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар; ²к.т.н. ст. преподаватель, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Предложена система автоматизированного регулирования производительности насосной установки позволяющая сократить потребление электроэнергии. Приведены схема рассматриваемой системы и Q-H характеристики центробежного насоса при комбинированном регулировании; устройство и принцип действия системы автоматического регулирования.

Ключевые слова: система автоматизированного регулирования, центробежный насос, энергосберегающие системы.

Насосные установки различной мощности и различного назначения широко применяются в промышленности практически во всех сферах деятельности и являются потребителем значительной доли приобретаемой электроэнергии. Поэтому создание энергосберегающих технологий и систем управления насосными установками является перспективным направлением развития энерго- и ресурсосберегающей техники.

Режим работы определяется, главным образом, технологическим процессом предприятия и существенно зависит от потребления перекачиваемой жидкости. Поэтому возникает необходимость преднамеренно изменять подачу и напор насоса, чтобы совместить режимы потребления и подачи. Диапазон изменения производительности насосной установки невелик (не превышает 1:2), однако в некоторых случаях по условиям технологического процесса требуется более глубокое регулирование. В настоящее время, в основном, применяют регулирование производительности изменением степени открытия задвижек на напорной линии. Данный способ регулирования характерен дополнительными потерями энергии

на преодоление дополнительного гидравлического сопротивления в задвижке. Более экономичным является регулирование изменением частоты вращения приводного двигателя насоса, что достигается применением регулируемого электропривода [1-5]. Однако при глубоком регулировании производительности данным способом напор, создаваемый насосом, может снижаться до недопустимо малого значения. Анализ достоинств и недостатков рассмотренных способов показал, что глубокое регулирование производительности насосной установки в энергосберегающем режиме можно обеспечить комбинированием этих способов [1, 4].

Предлагаемый способ может быть реализован путем применения специальной системы, представленной на рис. 1, содержащей два управляемых преобразователя 3 и 4, и два электродвигателя 5 и 6, один блок задания 1 и общую систему управления 2. Электропривод насоса 8 обеспечивает регулирование производительности путем изменения частоты вращения электродвигателя 5, а электропривод задвижки 7 – путем изменения положения задвижки. Основным регулируемым параметром, по которому происходит управление системой, является напор, развиваемый насосом 8, контроль которого осуществляется с помощью датчиков давления 9 и 10, установленных во входном патрубке 11 насоса 8 и трубопроводе 12 за задвижкой 7.

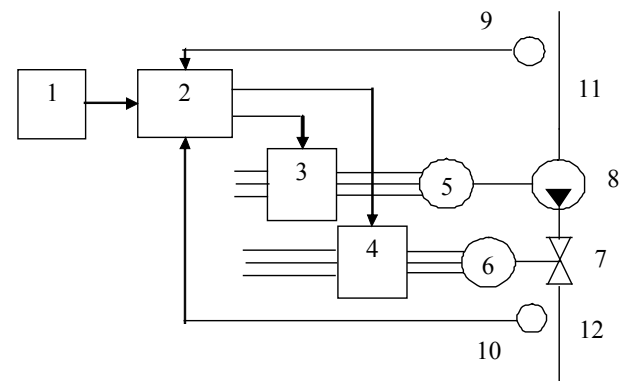


Рисунок 1 – Функциональная схема энергосберегающей системы глубокого регулирования производительности насосной установки

Принцип управления поясняется рис. 2 и заключается в следующем. Производительность насоса 8 регулируется с помощью управляемого электропривода насоса 8 до тех пор (нелинейный участок кривой 6), пока значение напора не достигнет критического значения H_{\min} . Как только это происходит – в работу включается электропривод задвижки 7, и дальнейшее

регулирование в сторону уменьшения производительности происходит при совместной работе обоих приводов (линейный участок кривой 6).

Следует отметить, что при небольшом диапазоне регулирование производится наиболее экономичным способом, а в случае глубокого регулирования система поддерживает напор на уровне минимального. Это позволяет сократить непроизводительные потери в задвижке и обеспечить минимум потребления электроэнергии электродвигателями установки.

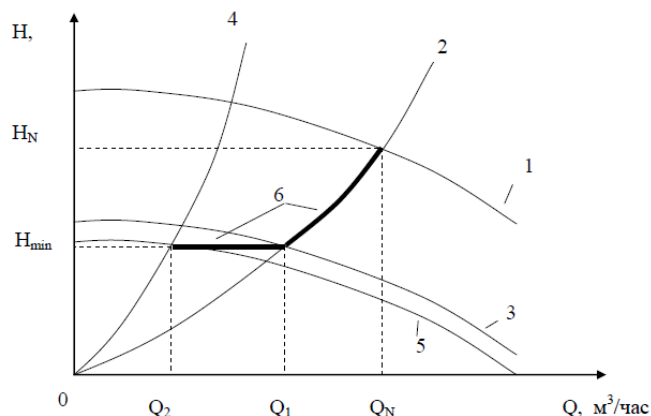


Рисунок 2 – Q-H характеристика насосной установки при комбинированном регулировании производительности.

Возможны варианты реализации системы автоматического управления насосного агрегата при использовании асинхронного и синхронного электродвигателей, в зависимости от установленной мощности агрегата. Для реализации энергосберегающих систем автоматического управления разработаны датчики косвенного контроля координат электродвигателей [6-8]: устройства измерения угловой скорости и электромагнитного момента – асинхронных электродвигателей двигателей, а также косвенные устройства измерения угла поворота ротора и электромагнитного момента – синхронного электродвигателя.

Внедрение предлагаемой энергосберегающей системы в производство, там, где необходимо осуществлять глубокое регулирование производительности, позволит не только значительно сократить потребление электроэнергии насосной установкой, но и повысить степень использования запорной, регулировочной арматуры, а также электрооборудования установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Патент РК KZ (A)(11) 8461 Устройство для регулирования режима работы насосной станции/Мельников В. Ю., Бородацкий Е. Г. 1998 г.

2 Ковалев, В. З., Мельников, В. Ю., Бородацкий, Е. Г. Энергосберегающие алгоритмы управления взаимосвязанным электроприводом центробежных турбомеханизмов. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2000. – 120 с.

3 Регулируемый электропривод насосных установок «Наука и образование в стратегии регионального развития». Кибартас В. В., Кибартене Ю. В., Зигангирова Е. В. Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной 100-летию К. И. Сатпаева. – Павлодар, ПГУ им. С. Торайгырова, 1999. – 258 с. – Ч I. – С. 147-148.

4 Система автоматического управления, обеспечивающая бескавитационный режим работы насоса. Кибартене Ю. В., Кибартас В. В., Зигангирова Е. В. «Наука и образование на рубеже тысячелетий». Материалы региональной научно-практической конференции молодых ученых. – Павлодар, издательство Павлодарского университета, 2000. – 122 с. – Ч I. – С. 53-54.

5 Энергосберегающий электропривод переменного тока на основе устройств косвенного контроля координат. Мельников В. Ю., Кибартас В. В., Кибартене Ю. В. «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». Сборник трудов второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Россия, Благовещенск : издательство Амурского государственного университета, 2000. – 426 с. – С. 295-297.

6 Патент KZ(A) (11) 6585. Устройство для измерения частоты вращения асинхронного электродвигателя// Мельников В. Ю., Бородацкий Е. Г. Оpubл. в бюл. изобр. № 8. – 1998.

7 Патент KZ(B) (11) 7252. Электропривод переменного тока// Мельников В. Ю., Поляков Д. В. Оpubл. в бюл. изобр. № 2. – 1999.

8 Патент KZ(A) (11) 8343. Способ измерения крутящего момента асинхронного электродвигателя// Мельников В. Ю., Бородацкий Е. Г. Оpubл. в бюл. изобр. № 12. – 1999.

9 Патент РК KZ (13) A (11) 10361 Электропривод переменного тока// Мельников В. Ю., Кибартене Ю. В., Кибартас В. В., Зигангирова Е. В. Оpubл. в бюл. изобр. – 2001.

10 Мельников, В. Ю., Кибартас, В. В., Кибартене, Ю. В. Энергосберегающий электропривод переменного тока на основе устройств косвенного контроля координат // Сб. трудов второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». – Благовещенск, 2000.

Материал поступил в редакцию 11.08.15.

В. В. Кибартас¹, Ю. В. Кибартене²

Сорғы құрылғысының өнімділігін реттеудің автоматтандырылған жүйесі

¹С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті;
²Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар.
Материал 11.08.15 баспаға түсті.

V. V. Kibartas¹, Ju. V. Kibartene²

The automated system of pump installation productivity regulation

¹S. Toraihyrov Pavlodar State University;
²Innovative University of Eurasia, Pavlodar.
Material received on 11.08.15.

Электрэнергияның тұтынылуын қысқартуға арналған сорғы орнатудың пайдасын автоматты реттеу жүйесі ұсынылған. Қарастырылған жүйенің және біріктірілген реттеудегі Q-Норталық тепкіш сорғы мінездемесі, құрылғы және автоматты реттеу жүйесінің әрекет принципі келтірілген.

The automated system of pump installation productivity regulation is offered to reduce a current consumption. There is adduced the scheme of the considered system and Q-H characteristics of a centrifugal pump at combined regulation; as well as the device and principle of operation of the automatic control system.

УДК 537.529+534.222.2

Н. С. Кузнецова¹, Р. М. Мустафина², Е. Ж. Сарсикеев³

¹к.т.н., доцент кафедры «Техника и электрофизика высоких напряжений», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; ²к.т.н., доцент, профессор кафедры «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар; ³ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана

ВОЛНОВАЯ ДИНАМИКА И РАЗРУШЕНИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВЕ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ В ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Анализируется волновая динамика напряженно-деформированного состояния твердого материала при формировании плазменного канала в нем при электровзрыве. Исследована эффективность разрушения твердого тела при различных режимах ввода энергии в разрядный канал. В рамках физико-математической модели, согласованно описывающей работу разрядного контура, расширение разрядного канала, генерацию упруго-пластических волн, рассматриваются различные механизмы формирования откольной каверны в материале – менее энергоемкий, реализующийся с участием отраженных от поверхности волн и более энергоемкий, в котором функцию образования трещины выполняет прямая волна сжимающих напряжений, определяются наиболее эффективные условия разрушения обрабатываемого материала.

Ключевые слова: электровзрыв, моделирование, упруго-пластические волны, напряженно-деформированное состояние твердого тела, механизмы разрушения

Введение

Электровзрыв является фундаментальным явлением электрофизики диэлектриков, вместе с предшествующим электрическим пробоем, определяющим поведение материалов в сильных электрических полях. Взрывное воздействие, оказываемое расширяющимся плазменным каналом, сформированным в толще диэлектриков, используется в технологии фрагментации материалов, бурении, резании щелей, очистке поверхностей от отложений и др. [1-2]. В основе этого явления лежит последовательность взаимосвязанных процессов: зажигание разряда в твердой среде, импульсный ввод энергии внешнего источника в разрядный промежуток, развитие канала,

генерирование им в окружающей среде волновых возмущений (ударных волн), их распространение, формирование напряженно-деформированного состояния и, в итоге, образование трещин и разрушение материала. Сценарий электровзрывного преобразования энергии, накопленной в контуре, в энергию волны и характер разрушения твердых диэлектрических сред определяется тремя основными факторами: высокой концентрацией энергии в канале, крайне неравномерным распределением энергии в волне, спецификой поля механических напряжений, формируемых распространяющейся волной [3]. Отмеченные факторы обусловлены небольшими радиальными размерами разрядного канала $\sim 10^{-4}$ - 10^{-6} м. Малый радиус канала позволяет создать объемную плотность энергии в канале $\sim 10^{21}$ - 10^{22} Дж/см³, но, одновременно приводит к резкому снижению амплитуды волны в окрестности разрядного канала, вызванному ее дивергенцией в радиальном направлении. Ударная волна, излучаемая расширяющимся каналом, вырождается в упругую волну с выраженной областью растягивающих тангенциальных напряжений, которые стимулируют зарождение радиальных трещин. По мере распространения волны плотность энергии в ее головной части также резко снижается. В результате этого ухудшается подпитка энергией устьев образовавшихся трещин и, в итоге, уменьшается их число и протяженность [1]. Результирующая картина разрушения представляет область переизмельчения материала диаметром ~ 3 - 5 мм в окрестности канала и более протяженную ~ 3 - 5 см область растрескивания, покрытую радиальными трещинами.

Необходимость анализа рассмотренных процессов диктуется в контексте совершенствования электроразрядных технологий требованиями оптимизации параметров контура и режимов разряда, согласованных с волновой динамикой в диэлектрике и условиями его разрушения. Для выбора и оптимизации параметров импульсных генераторов в электроразрядных технологиях необходимо согласовать режим энерговыделения с характеристиками механического разрушения твердого тела. Для решения этой проблемы создана физико-математическая модель, описывающая динамику электровзрыва и связь параметров разрядного контура с напряженно-деформированным состоянием материала и его разрушением. Комплексный анализ рассматриваемых процессов проводился на примере схемы электроразрядной технологии бурения.

Физико-математическая модель электровзрыва

Схема расположения электродов и траектория канала в момент замыкания межэлектродного промежутка приведена на рисунке 1.

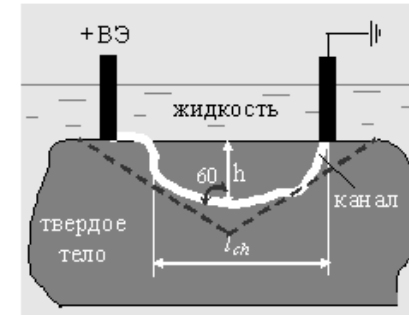


Рисунок 1 – Расположение электродов на поверхности диэлектрика и траектория канала: l_{ch} – длина и h – глубина внедрения канала, ВЭ – высоковольтный электрод

Вероятность внедрения канала в твердый диэлектрический или полупроводящий материал определяется электропроводностью и полярностью жидкости и твердого тела, соотношением импедансов высоковольтного генератора и разрядного промежутка и реализуется при высокой скорости роста напряжения, когда время запаздывания пробоя сантиметровых промежутков $\leq 10^{-6}$ с. При приложении импульса напряжения к электродам на аноде инициируется рост разрядных каналов, которые преимущественно развиваются на поверхности жидкость – твердое тело. На расстоянии $\sim (0 \div \frac{1}{4} S)$ [1], где S – межэлектродное расстояние, один из каналов внедряется в твердый диэлектрик и, благодаря большей скорости развития ($V_s/V_1 \approx 1.5 \div 10$ [7], V_s, V_1 – скорости развития разрядных каналов в твердом теле и в жидкости соответственно) перемыкает промежуток. Считается, что глубина внедрения канала в оптимальных условиях составляет $h \approx \frac{1}{3} S$ [1].

Электротехническая часть рассматриваемого процесса моделировалась с помощью разрядного контура, рисунок 2. В электроразрядных технологиях чаще всего используются емкостные импульсные генераторы, другие виды генераторов могут быть приведены к аналогичной схеме замещения.

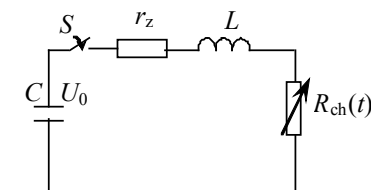


Рисунок 2 – Схема электрической разрядной цепи

При замыкании ключа S формируется разрядный канал, в плазме которого выделяется энергия из накопителя С. Активное сопротивление r_z включает в себя сопротивление коммутатора S и проводов разрядного контура. Индуктивность L состоит из индуктивности конденсатора С, соединительных проводов и разрядного канала. Канал разряда с сопротивлением $R_{ch}(t)$ аппроксимировался цилиндром радиусом r_{ch} и длиной l_{ch} , расширяющимся в радиальном направлении.

Быстрозатухающие ударные волны в конденсированных диэлектриках с давлением на фронте до 10^8 - 10^9 Па наблюдаются уже на стадии формирования ветвящихся разрядных каналов [4]. Однако основное разрушающее действие оказывают волны давления, генерируемые при радиальном расширении канала после завершения пробоя. При этом в канале возрастает давление, его сопротивление снижается, увеличение радиуса сопровождается генерированием волн механических напряжений. Их распространение в материале формирует напряженно-деформированное состояние, которое и определяет его дальнейшее разрушение.

В основу модели электровзрыва положены законы сохранения импульса, массы и энергии, самосогласованно описывающие волновой характер импульсного воздействия на материал. Преобразование энергии накопителя приведено на рисунке 3. Энергия накопителя W_g при разряде конденсатора частично расходуется в активном сопротивлении контура W_R и, в основном, выделяется в разрядном канале W_{ch} . Последняя составляющая расходуется на образование и нагрев плазмы W_{pl} и совершение работы по ее расширению W_{ws} , то есть в энергию ударной волны в твердом теле. Энергия волны трансформируется в энергию деформирования материала W_{de} и его движение W_{ke} . Часть энергии преломляется в жидкость при отражении волны от границы твердое тело – жидкость – W_{wl} .

Потери энергии на формирование канала пробоя, составляющими в сантиметровых промежутках около 10 Дж [5] пренебрегаем. Потери энергии на излучение и истечение плазмы из канала в моделировании не учитывались. В соответствии с оценками [6] при временах формирования волн не превышающих $\sim 10^{-6}$ с, излучение не превышает 2-5 % от выделенной в канале энергии $W(t)$. Потери энергии на истечение плазмы из устьев канала в типичных условиях составляют ~ 1 -2 % от $W(t)$ [7].

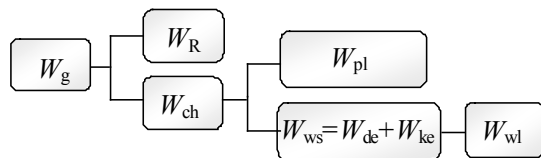


Рисунок 3 – Схема преобразования энергии контура

С принятыми упрощениями модель электровзрыва включает электротехнические соотношения разрядной цепи рисунке 1, уравнение энергобаланса канала разряда и систему уравнений импульсного деформирования упруго-пластической среды [8].

Для описания импульсного деформирования упруго-пластической среды вокруг канала и распространения волны в жидкости использовались уравнения в виде законов сохранения импульса, массы, энергии в Лагранжевых координатах для цилиндрической симметрии в соответствии с [9, 10].

Разработанная модель применялась для анализа механизма образования откольной каверны при заглубленном электровзрыве в граните. Длина канала составляла $l_{ch}=2$ см, $h=4 \dots 8$ мм. Параметры контура варьировались в пределах: $U_0=200 \dots 350$ кВ, $C=1 \dots 20$ нФ, $L=1 \dots 25$ мкГн, $r_z=1$ Ом.

Волновые процессы и разрушение деформируемого материала

Анализ результатов моделирования показывает, что в зависимости от мощности разряда, скорости ее ввода в канал в экспериментах наблюдаются различные формы профилей ударных волн, излучаемых каналом. Быстрый ввод энергии малоиндуктивным генератором даже при $W_g=20$ Дж позволяет сформировать наряду с областью пластического переизмельчения материала область растягивающих напряжений (как радиальных σ_R , так и тангенциальных σ_t) за своим фронтом. Эта область по мере распространения волны увеличивается, а напряжения σ_t в ней усиливаются при отражении. Растягивающие напряжения в этой области способны вызвать появление радиальных трещин в материале. При медленном вводе энергии в разрядный канал (полупериод разрядного тока $T_{05} \approx \pi\sqrt{LC} > 2$ -10 мкс) область растягивающих тангенциальных напряжений в волне развиваться не успевает. Напряжения в волне в рассматриваемом временном интервале остаются сжимающими. Разрушение в этом случае реализуется за счет деформаций сжатия и сдвига. На рисунке 4 для трех моментов времени приведены соответствующие профили радиальных σ_R и тангенциальных σ_t напряжений в волне.

Сравнение напряжений σ_R и σ_t показывает, что медленные режимы ввода энергии ($T_{05} > 2$ -10 мкс) не приводят к формированию выраженной области растягивающих напряжений в волне (рисунок 4, б). В этом случае наблюдается высокий уровень сжимающих напряжений на протяжении рассматриваемого интервала времени, способных обеспечить разрушение твердого тела только за счет деформаций сжатия и сдвига.

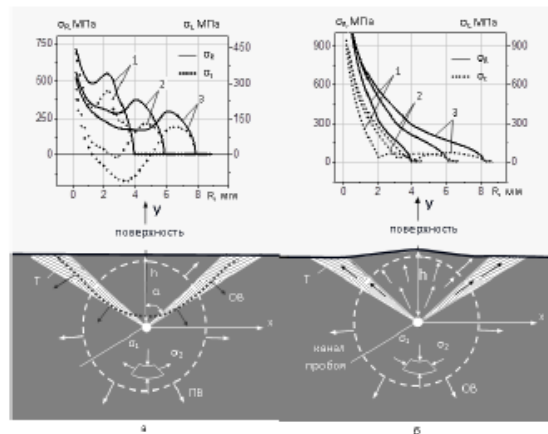


Рисунок 4 – Профили радиальных σ_r и тангенциальных σ_t напряжений в волне в граните и поперечные сечения канала: ПВ – прямая волна, ОВ – волна, отраженная от границы диэлектрика, h – глубина внедрения канала, Т – области наиболее вероятного образования трещин; 1 – при $t=0.6$ мкс; 2 – при $t=0.9$ мкс; 3 – при $t=1.2$ мкс; а – $W_g=45$ Дж, $T_{05}=0,22$ мкс; б – $W_g=400$ Дж, $T_{05}=2,4$ мкс.

На рисунке 5 приведены расчетные значения деформаций сдвига ε_{xy} в элементах среды, расположенных в трех разных сечениях. Сравнение полученных распределений ε_{xy} показывает, что наибольшие значения ε_{xy} достигают в сечениях, расположенных вдоль $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ под углами $\sim 40^\circ \dots 50^\circ$ относительно оси ОУ.

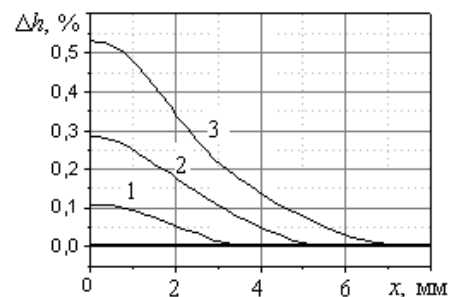


Рисунок 5 – Зависимость величины подъема поверхности твердого тела над каналом ($h=4$ мм) от расширяющегося плазменного канала t , мкс: 1) 1; 2) 1,2; 3) 1,4

При режимах разряда со значительно меньшим временем ввода энергии ($T_{05} < 1$ мкс) тангенциальные напряжения в волне становятся растягивающими (рисунок 4, а, кривые 2 и 3). Растягивающие тангенциальные напряжения σ_t совместно со сдвиговыми напряжениями вызывают появление радиальных трещин уже на этом этапе за счет того, что предел прочности на разрыв на порядок ниже предела прочности на сжатие. Вблизи канала σ_t максимально, поэтому радиальные трещины распространяются из области пластического деформирования, создавая при этом фронт разрушения материала.

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что поле напряжений в исследованном диапазоне соответствует картине разрушений, наблюдаемой в эксперименте. Согласно [11], область разрушения при пробое можно разделить на область раздавливания вокруг канала и область растрескивания. Характерные радиальные масштабы этих зон для кристаллических тел (ПММА, стекло, керамика) составляют $\sim 2 \div 4$ мм и $\sim 3 \div 6$ мм [1] соответственно. Несмотря на малые размеры, область пластического дробления вблизи канала поглощает значительную долю энергии разряда (согласно [12] – до 80 % энергии волны).

На рисунке 6 приведены зависимости, иллюстрирующие преобразование энергии накопителя для трех значений генерирующей емкости (типичных параметров для электроразрядных технологий).

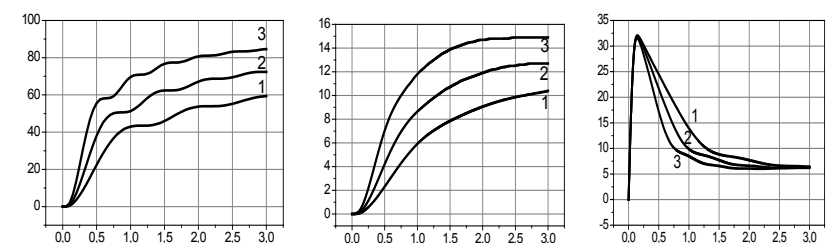


Рисунок 6 – Временные зависимости коэффициентов преобразования энергии разряда в энергию канала η_k (а) и энергию волны $\eta_{ув}$ (б), объемной плотности энергии w (в) при $U_0=200$ кВ, $L=5$ мкГн, С, нФ: 1 – 20, 2 – 10, 3 – 5

Анализ полученных зависимостей показывает, что основной этап формирования волны напряжений в твердой среде заканчивается к концу первого полупериода разрядного тока $T_{05} \sim \pi\sqrt{LC}$. Вторая и последующие токовые пульсации много слабее влияют на энергетику волны. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, эффективность преобразования электрической энергии в энергию ударной волны в рассмотренных режимах

не превышал 15 %. Во-вторых, разрядный канал является эффективным источником импульсной нагрузки лишь на начальном этапе разряда (в течение $t \sim \pi\sqrt{LC}$). Это следует из рисунка 6 (в), где объемная плотность энергии в разрядном канале сопоставлена с объемной плотностью энергии нитроглицерина $w_n \approx 10 \text{ кДж/см}^3$ (штриховая линия). В это время канал интенсивно расширяется и генерирует в окружающую среду ударную волну. В дальнейшем объемная плотность энергии значительно снижается и, соответственно, разрядный канал теряет свойства источника взрывного нагружения. В связи с этим дополнительный ввод энергии во второй и последующих пульсациях тока менее эффективен с целью увеличения энергии волны.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана физико-математическая модель электровзрыва в твердом теле, позволяющая самосогласованно моделировать работу высоковольтного генератора и все стадии электровзрыва в материале. С помощью результатов моделирования установлено, что в зависимости от режима работы генератора реализуются различные механизмы разрушения твердого тела. Механизм сдвигового разрушения, осуществляемый при медленном вводе энергии в канал, при котором разрушение материала происходит за счет деформаций сжатия и сдвига, вызываемых сжимающими и сдвиговыми напряжениями в волне. Коэффициент преобразования энергии накопителя в энергию волны в этом случае составляет ~5–10 %. Быстрый ввод энергии с помощью малоиндуктивного генератора обеспечивает разрушение за счет растягивающих и сдвиговых напряжений и деформаций. Соответствующий коэффициент преобразования энергии увеличивается до 25 %. Следовательно, для достижения максимального разрушающего эффекта при электровзрыве необходимо использовать низкоиндуктивные генераторы с малым периодом колебаний тока.

Верификация полученных результатов моделирования с результатами экспериментов позволяет в рассмотренном диапазоне изменения свойств среды и режимов энерговыделения прогнозировать масштабы и характер разрушения твердого тела при электровзрыве.

Работа выполнена в рамках бюджетной программы «Грантовое финансирование научных исследований на 2015-2017 годы», по приоритету: «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции», по подприоритету: «Рациональное природопользование и обеспечение равновесного экологического состояния окружающей среды Казахстана», по теме: «Исследование электровзрывного воздействия на конденсированные среды для развития электроразрядных технологий откола и разрушения твердых материалов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Семкин, Б. В., Усов, А. Ф., Курец, В. И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1995. – 276 с.
- 2 D. Jgun, M. Jurkov, V. Lopatin, V. Muratov, V. Vajov, I. Gubsch, G. Kunze, M. Neubert. Application of pulsed discharges for materials cutting. Digest of Paper of 1st European Pulsed Power Symposium 22-24 October, 2002. – French-German Research Institute of Saint-Louis (ISL), France. – P. 22/1-22/4.
- 3 Burkin, V. V., Kuznetsova, N. S., Lopatin, V. V. Characteristics of Electro Burst in Solids // Изв. вузов. Физика, 2006. – № 10. – Приложение. – С. 192-195.
- 4 Gavrilov, I. M., Kukhta, V. R., Lopatin, V. V. Dynamics of Breakdown Phenomena in Nonuniform fields in Water // IEEE Trans. on Dielectrics and Electr. Insul. – 1994. – V. 1. – № 3. – P. 496-502.
- 5 Lopatin, V. V., Noskov, M. D., Badent, R., Kist, K., Shwab, A. J. Positive discharge development in insulating oil. Optical observation and simulation // IEEE Trans. on Dielectrics and Electr. Insul. – 1998. – V. 5. – № 2. – P. 250-255.
- 6 Кривицкий, Е. В., Шамко, В. В. Переходные процессы при высоковольтном разряде в воде. – Киев : Наукова думка, 1979. – 207 с.
- 7 Вершинин, Ю. Н. Электронно-тепловые и детонационные процессы при электрическом пробое твердых диэлектриков. – Екатеринбург : УрО РАН, 2000. – 258 с.
- 8 Буркин, В. В., Кузнецова, Н. С., Лопатин, В. В. Моделирование электровзрыва в твердых диэлектриках в электроразрядных технологиях // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – № 2. – С. 70-75.
- 9 Уилкинс, М. Л. Расчет упруго-пластических течений. Вычислительные методы в гидродинамике / Под ред. Ф. Олдер. – М. : Мир, 1967. – 563 с.
- 10 Рихтмайер, Р., Мортон, К. Разностные методы решения краевых задач. – М. : Мир, 1972. – 418 с.
- 11 Воробьев, А. А. и др. Импульсный пробой и разрушение диэлектриков и горных пород. – Томск : Издательство ТГУ, 1971. – 223 с.
- 12 Буркин, В. В. Особенности взрывного воздействия при импульсном электрическом пробое прочных сред // Физика горения и взрыва. – 1985. – № 4. – С. 113–118 Физика взрыва / Под ред. К. П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

Материал поступил в редакцию 05.08.15.

Н. Кузнецова¹, Р. Мустафина², Е. Сарсикеев³

Электрразрядты технологиялардағы қатты денелерде болатын электрлік жарылу кезінде орын алатын толқындық динамика мен бұзылу

¹Томбы саясы техникалық

Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

³С. Сейфуллин атындағы агротехникалық университеті, Астана қ.

Материал 05.08.15 баспаға түсті.

N. Kuznetsova¹, R. Mustafina², Ye. Sarsikejev³

Wave dynamics and solid destruction at electro-blast in electro-discharge technologies

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

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

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

Material received on 11.08.15.

Қатты материалдағы электрлік жарылу кезінде материалдағы кернеулі-деформацияланған жағдайдың толқындық динамикасы талданады. Разрядты арнаға энергияны жіберудің түрлі режимдерінде қатты дененің бұзылу тиімділігі зерттелді, разрядты контурдың жұмысын, разрядты арнаның кеңеюін, серпінді-пластикалық толқындардың генерациясын бейнелейтін физика-математикалық модель шектерінде қавернаны қалыптастырудың түрлі механизмдері қарастырылады – беттен шағылған толқындар қатысуымен жүзеге асырылатын аз энергиясыйымды және жарықтың түзілу функциясын қысатын кернеулердің тура толқын орындайтын көбірек энергия сыйымды, өңделетін материал бұзылуының ең тиімді жағдайлары анықталады.

There is analyzed the wave dynamics of tensely-deformed state of solid material at plasma discharge channel formation after electro-blast. The efficiency of solid material destruction at electro-blast at different modes of energy release into the discharge channel is investigated. Various mechanisms of slabbing cavity formation in solid material are considered by means of the physical and mathematical model, which consistently describes the pulse generator operation, plasma channel expansion, shock waves generation. Less power-intensive mode, which is realized by the waves reflected from a solid surface and more power-intensive mode in which function of cracks formation is carried out by a direct wave of compressive stresses, the most effective conditions for destruction of processed material were found. Connection of the discharge circuit parameters of pulse generator with tensely-deformed solid state and fracture pattern is shown.

UDC 331.4:622(574)

D. K. Kusmanov

undergraduate, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar

PRIORITIES FOR THE NEAR FUTURE IN THE FIELD OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN THE COAL INDUSTRY IN KAZAKHSTAN

In this article the author gives the analysis of the coal industry characteristics in Kazakhstan and measures for increasing its safety.

Keywords: coal industry, occupational safety and health, industrial safety.

Today the Republic of Kazakhstan is among the ten largest producers of coal in the world market is the third largest reserves and production among the CIS countries and first place on coal mining per capita. Now the country has 33 coal mining companies. Kazakhstan's coal is exported to many countries of the CIS, as well as in foreign countries such as Bulgaria, Hungary, Poland, Turkey, Finland and other. The role of coal as the cheapest fuel in the world is constantly growing. And in connection with this growing problem for coal miners to the country.

In connection with the gradual depletion of oil and gas main strategy of Kazakhstan's energy policy up to 2030 will be based on the increase in coal production and its use for different types of energy. For example, it is assumed that by 2030 the country 75 % of electricity is generated in coal power plants [1].

However, it must be borne in mind that, despite a certain value, coal and very serious inherent drawbacks high fire and explosion hazards. Research shows that underground coal mining is carried out in conditions of increased danger for the person who works in a limited space, the possible collapse of the rock mass and coal, a high concentration of coal and rock dust, high fire and explosion hazards, a high level of vibration, noise, humidity and ambient temperature and low light, and other. All of this is the root cause of accidents and occupational diseases systematic miners.

For many years, research institutions, engaged in work safety in the mining industry abroad and in our country, investigated cases of explosions of methane gas and coal dust. The studies revealed that the most dangerous source of ignition of explosive mixtures of dust and gas in the mines are blasting. In second place on the danger of explosions is frictional sparks when working excavation, tunneling and drilling machines. Also represent a significant risk of ignition sources such as spontaneous combustion of coal in the various pillars (endogenous fires), welding and smoking. Among other sources of ignition of explosive mixtures of dust and

gas in the mines should be emphasized fires on conveyors. Therefore, generation, equipped with conveyor transport, particularly dangerous for the occurrence of coal dust explosions [2].

Under these circumstances, both now and in the short term, priority measures improve safety in the coal industry of Kazakhstan should be:

1. An integrated approach to the problems of living conditions and health of people in law, the reorientation of normative legal acts with the general provisions aimed at preventing the individual production factors, directly to the person as the object of protection from the harmful effects of industrial and environmental.

2. Strengthening the role of social partnership (government, trade unions and entrepreneurs) in the formulation and implementation of national policies in the field of labor.

3. The introduction of the mechanism of the economic interest of employers and workers themselves to create favorable working conditions that meet safety and hygiene requirements.

4. Study and generalization of positive foreign experience to ensure the safety of mining operations at coal mines [3].

Balanced Scorecard demonstrates the close relationship between the various aspects of hazardous production facilities in the field of industrial control and ensure industrial safety, such as: human resources, internal processes, customer satisfaction and financial performance. From the development staff directly affects the quality of the organization's processes and production control software, which naturally affect the satisfaction of interested parties in the object of his state of industrial safety and, consequently, the overall business success of the company.

In my opinion, the above-mentioned recommendations and suggestions in the coming years, it is advisable to test in the first place to the security problems of underground coal mining and the establishment of the working conditions of miners in Kazakhstan, dramatically reducing their injuries and deaths in peacetime.

LIST OF REFERENCES

1 **Буянов, С.** Угольный вектор // Индустриальная Караганда. – 2012. – 28 авг. – С. 1.

2 **Алтаев, Ш. А., Каренов, Р. С.** Развитие техники и технологии угледобычи в Карагандинском бассейне. – Алма-Ата : Ғылым, 1992. – 152 с.

3 **Каренов, Р. С.** Минерально-сырьевой комплекс Казахстана в условиях рыночной экономики. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 296 с.

Material received on 31.07.15.

Д. К. Кусманов

Қазақстан көмір өнеркәсібі еңбекті қорғау және қауіпсіздік саласындағы жақын келешекке басымдықтары

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 31.07.15 баспаға түсті.

Д. К. Кусманов

Приоритеты на ближайшую перспективу в области охраны труда и промышленной безопасности в угольной промышленности Казахстана

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайғырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 31.07.15.

Бұл мақалада автор Қазақстан көмір өнеркәсібінің қауіпсіздігін арттыру шараларының сипаттамаларына талдау береді.

В настоящей статье автор дает анализ особенностей угольной промышленности Казахстана и мер повышения безопасности труда в ней.

Б. В. Лукутин¹, Р. М. Мустафина², Е. Ж. Сарсикеев³

¹д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; ²к.т.н., доцент, профессор кафедры «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар; ³ст. преподаватель, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ИНВЕРТОРНОГО ТИПА С НАКОПИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В работе представлены принципы моделирования преобразовательных устройств для микрогидроэлектростанций, позволяющие подключать накопители электрической энергии. Определены требования, предъявляемые к выпрямителям и инверторам, для обеспечения надлежащего качества электроэнергии. Разработаны компьютерные модели силовых преобразователей и энергетического комплекса на базе этих устройств.

Ключевые слова: микрогидроэлектростанция, накопитель электроэнергии, экономическая эффективность, электроснабжение.

Анализ установленных мощностей небольших автономных поселков установленной мощностью до 100 кВт показал перспективность построения системы накопителя электроэнергии (НЭ) по модульному принципу [1]. При этом целесообразнее использовать отдельные модули мощностью 5, 10, 20 кВт. Модули должны допускать возможность параллельной синхронизированной работы в системе, а управление таким комплексом должно осуществляться по типу «ведущий ведомый».

Силовые преобразователи в гибридных энергетических системах выполняют следующие функции:

– осуществляют преобразование электрической энергии переменного тока в энергию постоянного тока с малыми потерями и в широком диапазоне изменений параметров (частоты, амплитуды) входных трехфазных переменных напряжений, поступающих с синхронных генераторов. Данная функция реализуется выпрямителем, иногда называемом конвертером;

– обеспечивают коррекцию коэффициента мощности в сети переменного тока для повышения энергетической эффективности работы генераторов, первичных источников энергии;

– осуществляют преобразование электрической энергии постоянного тока в энергию трехфазного переменного тока с малыми потерями в широком диапазоне нагрузок. Данная функция реализуется в трехфазном инверторе постоянного напряжения в переменное напряжение;

– участвуют в перераспределении потоков энергии между источниками электроэнергии, накопителем электроэнергии и объектом электроснабжения;

– предотвращают аварийные режимы работы системы.

Особенностью работы конвертера является широкий диапазон изменения входных параметров переменного напряжения, как по амплитуде, так и по частоте, обусловленный переменной скоростью вращения ротора электрического генератора. В тоже время величина выходного напряжения постоянного тока должна оставаться неизменной в допустимом диапазоне нагрузок. Одна из наиболее простых схем конвертера приведена на рисунке 1.

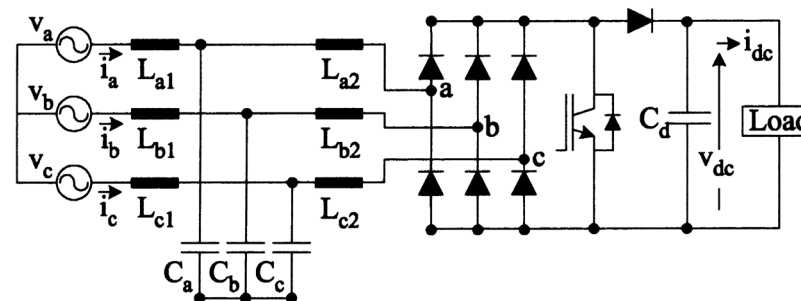


Рисунок 1 – Конвертер на основе неуправляемого выпрямителя и повышающего импульсного преобразователя

Конвертер состоит из сетевого фильтра на элементах $L_i C_i$ ($i = a, b, c$), улучшающего форму входного переменного напряжения, накапливающих энергию дросселей L_{i2} , неуправляемого мостового выпрямителя, ключа на основе биполярного транзистора с изолированным затвором, диода и накапливающего энергию конденсатора C_d . Транзистор работает в импульсном режиме с постоянной частотой преобразования. Для создания сигнала управления затвором используется широтно-импульсный модулированный (ШИМ) сигнал. Диод блокирует нагрузку и накапливающий конденсатор, когда транзистор открыт. При этом происходит накопление энергии дросселями L_{i2} . Ток в нагрузке при этом поддерживается только за счет энергии, запасенной в конденсаторе C_d .

Когда транзистор закрыт, происходит передача энергии запасенной в дросселях L_{i2} в нагрузку. ЭДС самоиндукции суммируется с выходным напряжением и энергия, запасенная в дросселях, подзаряжает конденсатор. При этом выходное напряжение U_{dc} может стать больше.

Значение выходного напряжения конвертора определяется по формуле

$$U_{dc} = K_u \frac{1}{1-D} U_F,$$

где K_u – коэффициент передачи неуправляемого выпрямителя по напряжению; $D = t_u / T$ – коэффициент заполнения; T – период коммутации; t_u время открытого состояния транзисторного ключа.

Система управления конвертором строится по типу следящей системы с отрицательной обратной связью. Выходное напряжение U_{dc} сравнивается с управляющим опорным (эталонным) напряжением, формируется сигнал рассогласования, который посредством ШИМ преобразуется в импульсный сигнал управления транзисторным ключом. Обратная связь может замыкаться и по выходному току или быть комплексной.

Для улучшения коэффициента мощности схемы в систему управления вводится дополнительный контур управления. Для определения фазового угла между входным напряжением и током в фазных цепях устанавливаются датчики тока и напряжения. Обычно управление ведется в dq координатах, путем выполнения преобразований

$$\begin{bmatrix} i_\alpha(t) \\ i_\beta(t) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix}$$

и

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta & \sin \vartheta \\ -\sin \vartheta & \cos \vartheta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix},$$

где $\vartheta = \omega t$ – угол поворота вращающейся системы координат с частотой.

Следует отметить, что только по две из трех переменных $i_\alpha(t)$, $i_\beta(t)$, $i_c(t)$ и являются независимыми. Это позволяет уменьшить количество датчиков тока и напряжения.

Тогда мгновенные мощности будут определяться выражением

$$\begin{bmatrix} p(t) \\ q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha(t) & u_\beta(t) \\ -u_\alpha(t) & u_\beta(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha(t) \\ i_\beta(t) \end{bmatrix}.$$

Управление ведется исходя из условия равенства нулю мгновенной реактивной мощности $q(t)$. Сложность заключается в том, что в данном случае частота ω не является постоянной. Поэтому, чтобы выполнить преобразования координат, контур системы управления должен содержать узел фазовой автоподстройки частоты.

На основании вышесказанного в среде Simulink пакета MatLab создана имитационная модель конвертора (преобразователя переменного напряжения в постоянное напряжение). Структура имитационной модели преобразователя приведена на рисунке 2.

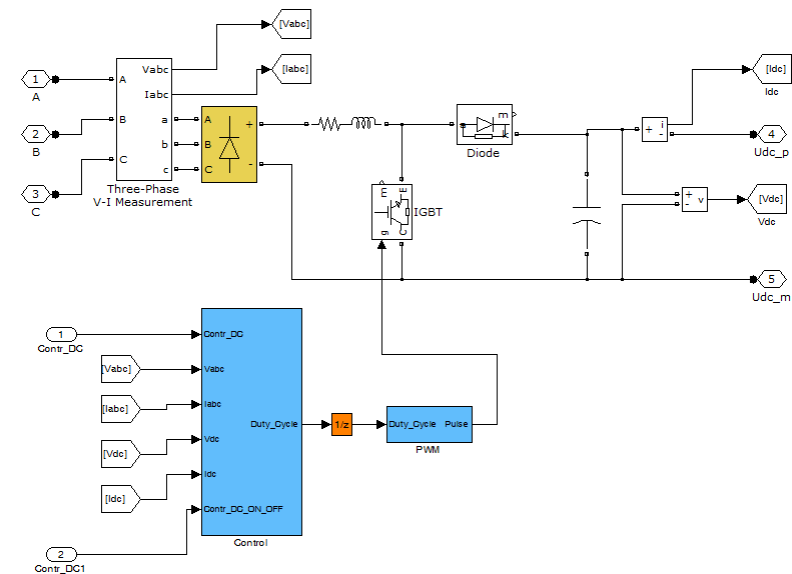


Рисунок 2 – Модель конвертера

Инвертор напряжения предназначен для преобразования постоянного напряжения поступающего с шины постоянного тока (ШПТ) в трехфазное переменное напряжение (400 В, 50 Гц), удовлетворяющее требованиям ГОСТ. Трехфазные инверторы строятся по разнообразным схемам. Одна из наиболее распространенных схем – трехфазный управляемый посредством ШИМ мост на транзисторах (рисунок 3). Учитывая жесткие требования к качеству выходного напряжения, в последнее время перспективными являются схемы многоуровневых инверторов. Также возможна схемная реализация трехфазного инвертора на основе трех однофазных преобразователей. Последний вариант предпочтителен для объектов автономного электроснабжения малой мощности с относительно

небольшим числом электроприемников, вследствие чего возможен сильно несимметричный режим работы сети.

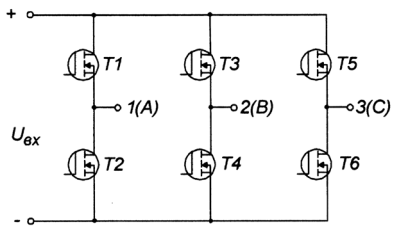


Рисунок 3 – Трехфазный мостовой транзисторный инвертор

Для проведения имитационного моделирования с целью отработки алгоритмов управления автономным энергетическим комплексом создана модель автономного инвертора напряжения на основе трехфазного транзисторного моста управляемого посредством пространственной векторной ШИМ (рисунок 4).

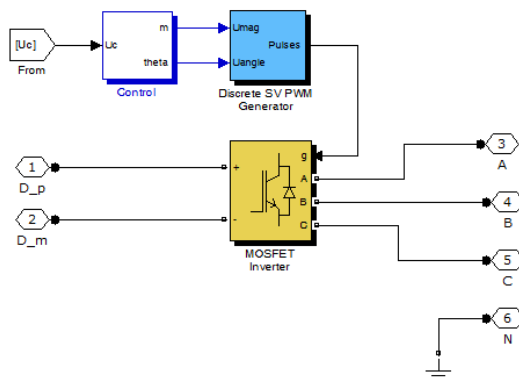


Рисунок 4 – Модель трехфазного автономного инвертора напряжения

Реализация компьютерных моделей силовых преобразователей для микрогидроэлектростанции позволяет создать комплексные модели автономного генерирующего комплекса в целом [2]. На рисунке 5 представлена комплексная модель автономной микрогидроэлектростанции с накопителем электрической энергии, подключаемого с помощью силовых преобразователей.

Следует отметить, что установка источников электроэнергии осуществляется посредством вставки постоянного тока. Модель позволяет при необходимости устанавливать дополнительные модели

установок возобновляемой энергетики, например, ветроэнергетические, фотоэлектрические установки и т.п.

Разработанная имитационная модель автономного энергетического комплекса не лишена недостатков. Она достаточно хорошо позволяет исследовать режимы на временных интервалах исчисляющихся сотнями – тысячами секунд, то есть исследовать динамические процессы в системе. При более длинных интервалах исследования время вычислений и объем генерируемых данных становятся слишком большими. Для этих случаев целесообразно использовать энергетическую модель системы.

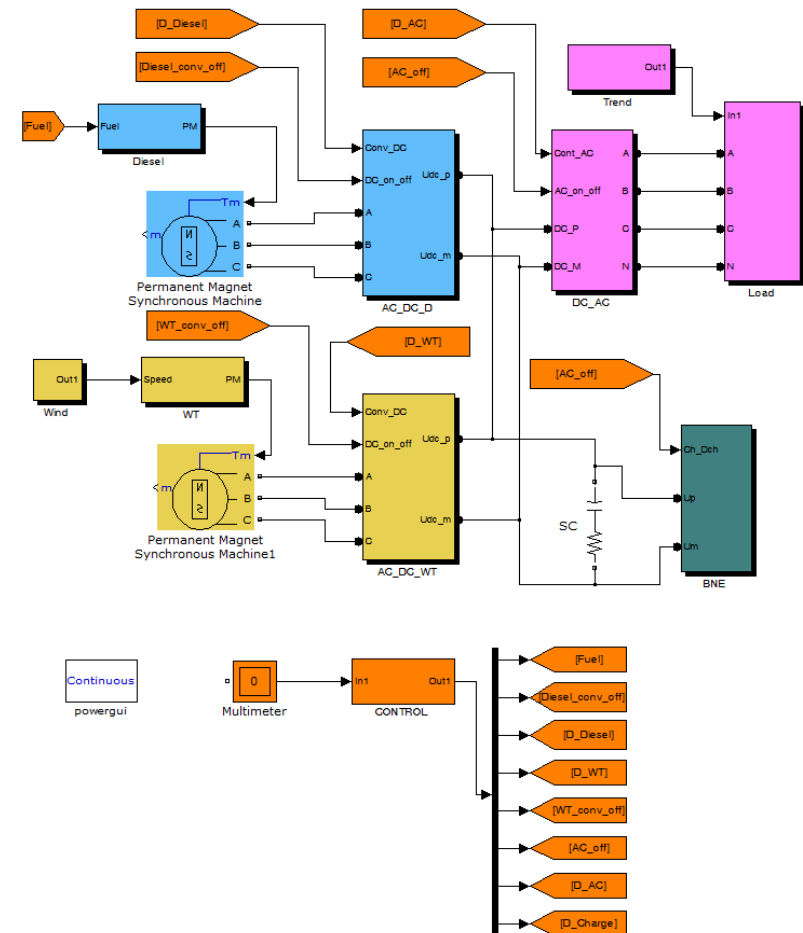


Рисунок 5 – Комплексная модель автономной микрогидроэлектростанции с накопителем электрической энергии

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №14-08-90106 на тему «Исследование и разработка систем управления микрогидроэлектростанции для электроснабжения автономных потребителей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Обухов, С. Г., Плотников, И. А., Сарсикеев, Е. Ж. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 9. – С. 137-141.

2 Лукутин, Б. В., Сарсикеев, Е. Ж., Шандарова, Е. Б. МикроГЭС со статическим преобразователем частоты // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 160.

Материал поступил в редакцию 17.08.15.

Б. Лукутин¹, Р. Мұстафина², Е. Сарсикеев³

Электрлік энергияны жинақтайтын инверторлық типті микрогидроэлектрстанциялары үшін күшті түрлендіргіштерді модельдеу

¹Томбы саясы техникалық

Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

³С. Сейфуллин атындағы агротехникалық университеті, Астана қ.

Материал 17.08.15 баспаға түсті.

B. Lukutin¹, R. Mustafina², Ye. Sarsikeev³

Simulation of power converters for microhydropower plants of inverter type with electrical power pool-fed

¹National research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

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

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

Material received on 17.08.15.

Жұмыста инверторлық типті микрогидроэлектрстанциялары үшін электрлік энергияны жинақтаушыларды қосуға мүмкіндік беретін түрлендіргіш құрылғыларды модельдеу қағидалары ұсынылады. Электр энергиясының қажетті сапасын қамтамасыз етуде түзеткіштер мен инверторларға қойылатын талаптар анықталған. Осы құрылғылар негізінде энергетикалық кешен мен күшті түрлендіргіштердің компьютерлік модельдері әзірленген.

The work presents the principles of simulating converter devices for microhydropower plants that allow connection of electrical power pool-feds. It determines requirements to rectifiers and inverters to ensure adequate electrical power. The author developed computer models of power converters and the energy complex based on these devices.

УДК 620.9

А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько²

¹д.тех.н., профессор, зав. кафедрой «Теплоэнергетика»; ²к.тех.н., доцент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

В статье производится анализ различных способов измельчения исходного сырья при брикетировании, а также разработка способа получения топливных брикетов из органических отходов.

Ключевые слова: органические отходы, топливо, брикетирование

Для измельчения исходного сырья при брикетировании применяются, как правило, классические методы. Механическое разрушение высокоэффективно, что делает его более привлекательным. Для малых количеств можно использовать ультразвуковые излучатели, генерирующие высокочастотные звуковые волны. Клетки разрушаются при этом под действием гидродинамических сил (сдвига слоёв жидкости друг относительно друга, кавитации и т. д.). При этом применение ультразвуковых излучателей ограничено значительными энергетическими затратами, а применение механического разрушения определяется отсутствием других методов, схожих по эффективности, но менее энергозатратных.

При получении брикетов из органических возобновляемых материалов (листьев) [1] представляет интерес исследование измельчения листьев физическими немеханическими методами (например, с помощью осмотического шока или быстрого многократного замораживания и оттаивания). Эффективность этих методов более низкая, чем при использовании механических способов, и обычно после обработки немеханическими методами многие клетки остаются неповрежденными, но при этом возможно создать условия с незначительными энергозатратами.

Клетки и клеточные структуры можно разрушить также путём повторного замораживания и оттаивания. При этом внутри клеток образуются кристаллы льда, вызывающие разрушение клеточных структур. В целом, разрушение клеток и клеточных структур происходит по следующим причинам:

1) чрезмерное осмотическое обезвоживание клеток, в результате которого увеличивается концентрация внутриклеточных веществ, приводящая к высаливанию и необратимой денатурации растворимых белков или к повреждению мембранных структур из-за потери обеспечивающей их нормальное состояние доли воды;

2) разрушение клетки за счет контакта с омывающей кристаллы льда средой, концентрация растворённых веществ в которой из-за превращения части растворителя в лед непрерывно увеличивается вплоть до эвтектической области;

3) резкое изменение кислотности или ионной силы растворов вне и внутри клеток в процессе замораживания;

4) повреждение клеточной мембраны вследствие достижения клеткой минимального объема.

Процессы замораживания органической массы изучены достаточно хорошо. Но при использовании заморозки для получения однородной массы необходимо рассмотреть процессы увлажнения высушенных листьев и дальнейшей их заморозки. Эти процессы практически не имеют описания в литературе.

Основными факторами, определяющими степень обратимости замораживания, являются характер кристаллообразования и локализация льда в растительных тканях.

Обратимость замораживания зависит от природы и глубины изменений структурно-механических характеристик, степени нарушения целостности клеток, глубины изменений коллоидной структуры протоплазмы за счет гиперконцентрации солей и изменения характера биохимических процессов при превращении воды в лед в материале.

Изменяется пространственная конфигурация молекул, происходит целый ряд межмолекулярных взаимодействий. При переходе в лед части связанной воды нарушается структура малоустойчивых биокolloидов, они становятся не способными к полному восстановлению, и процесс замораживания становится необратимым. Результатом таких изменений является снижение влагоудерживающей способности растительных тканей. Однако необходимо отметить, что денатурационные явления при воздействии на клетку низких температур проявляются намного меньше, чем при обработке продукции высокими температурами.

В результате льдообразования в клетках происходят необратимые структурные изменения, вызванные механическим травмированием тканей продукта кристаллами льда. Поэтому у растительной продукции с тонкими клеточными оболочками наблюдаются более серьезные повреждения тканей при замораживании. Клетки листовой ткани окружены оболочками, состоящими из одного слоя клеток, поэтому эта ткань подвергается более сильному разрушительному воздействию при отрицательных температурах.

На характер изменений, протекающих в растительных тканях в процессе замораживания, влияет химический состав исходного материала. Например, пектин обладает высокими гидрофильными свойствами: он связывает большое количество воды и способствует образованию гелеобразной структуры, что положительно сказывается на обратимости процесса замораживания и предотвращает достижения органической массой кашеобразного состояния.

При быстром замораживании образуются мелкие кристаллы льда, которые равномерно распределены по всей толще замораживаемого продукта. Вода почти без перемещения переходит в лед по месту ее нахождения до замораживания. При этом травмирующее действие кристаллов на клетки и ткани минимально.

При ультрабыстром замораживании 90 % всех кристаллов льда формируется внутри клеток при минимальном повреждении ткани.

Существует несколько теорий, объясняющих механизм повреждения клеток и тканей при замораживании различными факторами:

а) механическим – давление образующихся кристаллов льда на строение тканей;

б) осмотическим – чрезмерная дегидратация клеток;

в) химическим – гиперконцентрация солей как вне, так и внутри клеток.

Все эти факторы – результат кристаллизации воды и перехода ее в лед.

Таким образом, для нарушения структурной целостности листьев нет необходимости в быстром замораживании с использованием энергозатратных технических устройств. Для снижения расходов при брикетировании возможно использование природных (погодных) условий. Таким образом, можно осуществлять процесс заморозки используя сезонные изменения температуры. С учётом того, что сезон сбора органического сырья (листьев) – конец осеннего периода, то возможно проведение процесса заморозки в этот период. При этом, учитывая суточные колебания температуры (отрицательной ночной и положительной дневной) возможна многократная заморозка с оттаиванием без тепловых энергетических затрат.

В ходе исследования процессов заморозки листьев и влияние этого на дальнейшее брикетирование авторами статьи был разработан «Топливный брикет из органических отходов и способ его получения», поставленной

задачей которого является получение топливных брикетов из органических отходов при снижении затрат теплоты в процессах брикетирования и сушки с составом без дополнительного связующего вещества. Техническим результатом является упрощение состава топливного брикета и снижение затрат теплоты при его изготовлении.

Это достигается за счет того, что в качестве единственного компонента брикета используют опавшие листья. Перед процессом брикетирования опавшие листья измельчают до размера не более 5 мм и измельченные листья помещают в воду таким образом, чтобы все части компонента брикета оказались под поверхностью воды. Замораживают воду с измельченными листьями исходя из условия полного замерзания всего объема воды с измельченными листьями при любой отрицательной температуре, например, на открытом воздухе. Затем размораживают весь объем воды с измельченными листьями, сливают воду и брикетируют органическую массу измельченных листьев, при этом брикетирование органической массы измельченных листьев производят при давлении от 0,5 до 1 МПа, а сушку полученных топливных брикетов из органических отходов производят в помещении до воздушно-сухого состояния.

Вода, смешиваясь с органической массой из листьев, проникает в их поры. При замораживании, в результате льдообразования, происходит разрушение структуры листьев и снижение их прочности, что позволяет в дальнейшем, при брикетировании, получить топливный брикет без значительных внутренних напряжений внутри него.

Таким образом, технологический процесс подготовки сырья для топливных брикетов из органических отходов состоит из следующих стадий:

– очистка опавших листьев от инородных включений (стекла, пластика металла и др.);

– сушка опавших листьев на открытом воздухе до воздушно-сухого состояния;

– измельчение опавших листьев до размера не более пяти миллиметров; – приготовление смеси воды с измельченными листьями таким образом, чтобы все измельченные листья оказались насыщенными водой;

– заморозка воды с измельченными листьями, исходя из условия полного замерзания всего объема воды с измельченными листьями при любой отрицательной температуре, например, на открытом воздухе;

– разморозка воды, слив воды и брикетирование органической массы измельченных листьев при давлении от 0,5 до 1 МПа;

– сушка полученных топливных брикетов из органических отходов в помещении до воздушно-сухого состояния.

На основании данного способа были проведены лабораторные исследования и получены следующие результаты. Собраны опавшие листья

с деревьев лиственных пород – тополя и клёна и очищены от неорганических включений. Затем листья просушили на открытом воздухе до воздушно-сухого состояния. Измельчение опавшие листья производилось до размера не более пяти миллиметров. Затем была приготовлена смесь воды с измельченными листьями таким образом, чтобы все части компонента брикета оказались под поверхностью воды. Далее воду с брикетировочной массой была заморожена исходя из условия полного замерзания всего объема воды с брикетировочной массой при температуре минус 7 °С. После этого была произведена разморозка воды, слив воды и брикетирование органической массы измельченных листьев при давлении 1 МПа. Форма и размеры топливных брикетов: цилиндр с высотой от 30 до 37 мм и диаметром 30 мм. Сушка полученных топливных брикетов из органических отходов производилась в помещении до воздушно-сухого состояния.

Влажность полученных топливных брикетов из органических отходов от 0,5 до 0,7 %; зольность 2 %; плотность от 550 до 650 кг/м³; механическая прочность (испытание сбрасыванием, применяемое для угольных брикетов) от 82 до 85 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Приходько, Е. В., Жумагулов, М. Г., Серебряков, В. А., Сероокая, В. Н. Исследование и разработка технологии получения топливных брикетов. // Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилёва. – 2013. – №4. – С. 136-142.

Материал поступил в редакцию 17.09.15.

А. С. Никифоров, Е. В. Приходько

Органикалық қалдықтардан отындық брикет алу тәсілін құрастыру

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.09.15 баспаға түсті.

A. S. Nikiforov, E. V. Prikhodko

A method for producing fuel briquettes from organic waste

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 17.09.15.

Мақалада брикеттеу кезінде бастапқы шикізатты ұсақтаудың әртүрлі тәсілдерінің талдауы және де органикалық қалдықтардан отындық брикеттерді алу тәсілін құрастыру жасалады.

The article analyzes the different ways of crushing the feedstock during briquetting, as well as a method for producing fuel briquettes from organic waste.

УДК 621.316.9.3.015.019.34

А. Н. Новожилов¹, Ж. Б. Исабеков²

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

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

В статье осуществлен анализ возможных режимов работы нейтрали кабельных сетей, рассмотрены известные способы и схемы ее заземления, а также конструкции отдельных заземляющих устройств и схемы управления ими, основные достоинства и недостатки каждого вида заземления и рекомендации по их использованию.

Ключевые слова: кабельные сети, режим работы нейтрали, однофазное замыкание на землю, однофазное замыкание на корпус, способы и устройства заземления нейтрали.

Кабельные сети различают как по выполнению, так и по назначению. Как правило, в их состав входят кабельные линии, силовые трансформаторы и комплектные распределительные устройства. Кабельные сети промышленных производств имеют большую длину, а следовательно, большие величины емкости относительно земли.

В связи с этим работу электрической сети и ее надежность функционирования в значительной мере определяет вид заземления нейтрали. Это обусловлено тем, что наиболее часто встречающимся электрическим повреждением в сетях 6-35 кВ является однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), на которое приходится не менее 75 % от общего числа электрических повреждений сетей [1, 2]. Достаточно часто встречается его разновидность в виде однофазного замыкания обмотки трансформатора или электрической машины на корпус (ОЗК).

Основным документом, регламентирующим режим работы нейтрали является ПУЭ [3]. Так в соответствии в его разделе п. 1.2.16 работа

электрических сетей предусматриваться как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

В соответствии с [2] работа с изолированной нейтралью предусматривается только в электрических сетях 6-35 кВ. При использовании этого режима нейтраль источника не присоединена к заземляющему устройству. В большинстве случаев, обмотки питающих трансформаторов в этих сетях соединены по схеме «треугольник».

Сети с изолированной нейтралью отличает простота выполнения. Пример кабельной сети с изолированной нейтралью приведен на рисунке 1 (ключи К1 и К2 разомкнуты).

В тоже время сетям с изолированной нейтралью характерны перенапряжения, возникающие при ОЗЗ. Их два вида. Первые возникают из-за возрастания в $\sqrt{3}$ раза напряжение неповрежденных фаз относительно земли. Вторые является следствием феррорезонансных процессов из-за наличие емкостей фаз относительно земли при различных видах коммутации. Особенно при работе вакуумных выключателей. В этом случае перенапряжения могут достигать 5-7 U_n , где U_n – номинальное линейное напряжение. Эти перенапряжения нередко сопровождается пробоем изоляции неповрежденных фаз и электрической дугой. Как правило это сопровождается междуфазным коротким замыканием или повреждением трансформаторов и электрических машин. При этом резко возрастает опасность поражения обслуживающего персонала переменным током.

При ОЗЗ или ОЗК возникают токи обусловленные емкостями проводников фаз относительно земли. В случае ОЗЗ в кабельных сетях полный ток металлического замыкания имеет активную и реактивную составляющие и определяется как:

$$\dot{I}_{\text{ОЗЗ}} = 3\dot{U}_{\phi} Y_{\text{О}\Sigma}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{О}\Sigma} = g_{\phi\Sigma} + jb_{\phi\Sigma} = g_{\phi\Sigma} + j\omega(C_{\phi\Sigma} - 1/L_{\phi\Sigma})$ – суммарная проводимость одной фазы сети на землю; $g_{\phi\Sigma}$ – суммарная активная проводимость утечек фаз; $C_{\phi\Sigma}$ и $L_{\phi\Sigma}$ – суммарная емкость и индуктивность одной фазы сети на землю; ω – угловая скорость сети; U_{ϕ} – номинальное фазное напряжение.

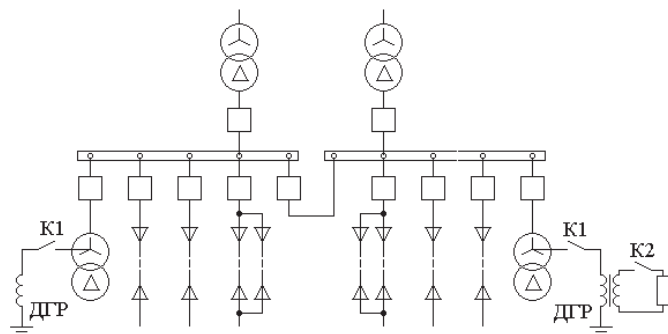


Рисунок 1 – Пример схемы кабельной сети

При ОЗК ток в точке замыкания

$$\dot{I}_{\text{ОЗК}} = 3\alpha \dot{U}_{\phi} Y_{0\Sigma}, \quad (2)$$

где α – относительное расстояние от точки ОЗК в обмотке фазы электрической машины или трансформатора со стороны нейтрали.

Значение сопротивления дуги при замыкании в линии электропередач ориентировочно можно определять [4] как

$$R_d = K \cdot l_d / i_d, \quad (3)$$

где K – постоянная величина, принимаемая равной 1200 – 1500; l_d – длина дуги; i_d – ток дуги.

При ОЗЗ и ОЗК через дугу токи

$$\dot{I}_{\text{ОЗЗ}} = 3\dot{U}_{\phi} Y_{0\Sigma} / [3R_d (Y_{0\Sigma} + 1)] \quad \text{и} \\ \dot{I}_{\text{ОЗК}} = 3\alpha \dot{U}_{\phi} Y_{0\Sigma} / [3R_d (Y_{0\Sigma} + 1)]. \quad (4)$$

Токи ОЗЗ в основном определены величиной емкостей проводников кабелей относительно земли. В соответствии с [5] они невелики и редко превышают 20–30 А. Именно по этому при ОЗЗ допускается работа сети в течении двух часов. Считается, что этого вполне достаточно для выявления поврежденного элемента.

Что касается величины опасного для электрической машины тока при ОЗК, то единого мнения по этому поводу в мировой практике нет. Вместе с тем опасным для электрической машины следует считать тот ток, длительное протекание которого в месте ОЗК вызывает значительный местный разогрев

и ускоренное разрушение изоляции. Так по [5] за допустимый следует принимать ток в 1–1,5 А. По [6] опасным током для электрических машин считается ток больший или равный 5 А.

Однако в сетях с изолированной нейтралью крупных промышленных предприятий токи ОЗЗ могут достигать 50–80 А. В этом случае использование режима работы с изолированной нейтралью в кабельных сетях нежелательно. В связи с этим для компенсации емкостных токов следует использовать дугогасящие реакторы (ДГР). На рисунке 1 это достигается замыканием ключей К1.

Дугогасящий реактор представляет собой индуктивность в виде электрического аппарата для компенсации емкостных токов в кабельной сети. В результате ДГР позволяет устанавливать ток в точке ОЗЗ практически равным нулю. Что обеспечивает надежное гашение дуги в точке замыкания и электрическую безопасность людей при растекании по земле токов замыкания. В этом случае сеть может работать при наличии ОЗЗ длительное время.

По конструкции все типы ДГР напоминают конструкцию масляного трансформатора, но различаются исполнением магнитной системы. Основные конструкции магнитной системы [7] приведены на рисунке 2. В результате ДГР можно разделить на устройства с распределенным воздушным зазором магнитопровода, с магнитопроводом плунжерного типа и с поперечным подмагничиванием магнитопровода.

ДГР с распределенным воздушным зазором показан на рисунке 2, а. Он способен обеспечить линейный характер вольтамперных характеристик реактора. Это достигается за счет нескольких воздушных промежутков 1 в сердечнике 2 ДГР. Регулировка индуктивного сопротивления. ДГР ступенчатая. Для чего обмотка 3 имеет ответвления 4. Недостаток этих реакторов заключается в том, что изменение настройки производят вручную при отключении ДГР от сети.

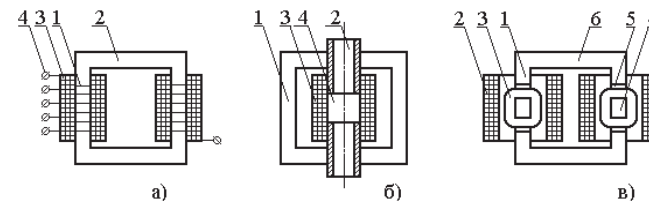


Рисунок 2 – Конструкции дугогасящих реакторов

ДГР с магнитопроводом плунжерного типа позволяет осуществлять плавное регулирование индуктивного сопротивления. Конструкция его магнитной системы показана на рисунке 2,б. Она имеет сердечник 1 и перемещающиеся стержни 2 типа плунжеров внутри обмотки 3, с помощью

которых плавно регулируется воздушный зазор 4. Перемещение стержней осуществляется с помощью электродвигательного привода дистанционно. Что дает возможность, обеспечивает плавное дистанционное регулирование сопротивления ДГР без отключения его от сети и автоматизировать процесс компенсации емкостных токов. Это означает, что всякое изменение архитектуры кабельной сети, сопровождающееся изменением индуктивного сопротивления, приводит соответствующему изменению индуктивного сопротивления ДГР и сохраняет резонансную настройку [8]. Однако изменение воздушного зазора требует некоторого времени. Поэтому ДГР с магнитопроводами плунжерного типа имеют ограничение по быстродействию и чаще используется для регулировки токов ОЗЗ в ручном режиме.

Конструкция ДГР с поперечным подмагничиванием магнитопровода показана на рисунке 2, в. В ней магнитопровод 1 выполняется двухстержневым. На каждом стержне размещаются основная обмотка 2 и обмотка подмагничивания 3. Оси обмоток 3 подмагничивания повернуты на 90° относительно осей основных обмоток 2. Размещают подмагничиваемые участки магнитопровода внутри основных обмоток. Подмагничивание осуществляют постоянным током, величину которого устанавливает автоматический регулятор. Магнитный поток от переменного тока в основной обмотке 2 замыкается через подмагничиваемые участки стержней 4, воздушные зазоры 5 и яма 6. Магнитный поток от постоянного тока в обмотке подмагничивания ориентирован поперек магнитного тока основной обмотки [8].

Реакторы с подмагничиванием обладают высоким быстродействием, что позволяет использовать автоматические системы регулирования для компенсации емкостных токов при любой скорости изменения архитектуры кабельной сети.

Функциональная схема [8] автоматического регулирования резонансной настройки кабельной сети показана на рисунке 3. Она содержит подключенный к нейтрали трансформатора собственных нужд (ТСН) дугогасящий реактор ДГР и автоматическую систему регулирования (АСР). ДГР комплектуется сигнальной обмоткой (СО), встроенным трансформатором тока (ТТ) и преобразователем тока подмагничивания (ПТ). В АСР входит генератор переменной частоты (ГПЧ) и блок блокировки (ББ), блок измерения (БИ) и схему определения частоты резонанса (ОЧР), блок деления и вычисления тока (БД) и блок долговременной памяти (БДП), пропорционально-интегральный регулятор (ПИР) и блок формирования управляющих импульсов (БФУИ), блок сопряжения (БС) и блок предварительного подмагничивания (БПП). Необходимую информацию о состоянии сети АСР получает от СО и ТТ, а также с обмотки «открытый треугольник» измерительного трансформатора напряжения НТМИ.

Автоматическая система регулирования приведенная на рисунке 3 работает следующим образом. В нормальном режиме работы сети при отсутствии ОЗЗ реактор ДГР подмагничивается только стабилизированным постоянным током от БПП. АСР находится в режиме измерения ожидаемого емкостного тока замыкания на землю. При этом от генератора ГПЧ через блок ББ и сигнальную обмотку СО в нейтраль сети подается напряжение переменной изменяемой в диапазоне от 20 до 80 Гц частоты.

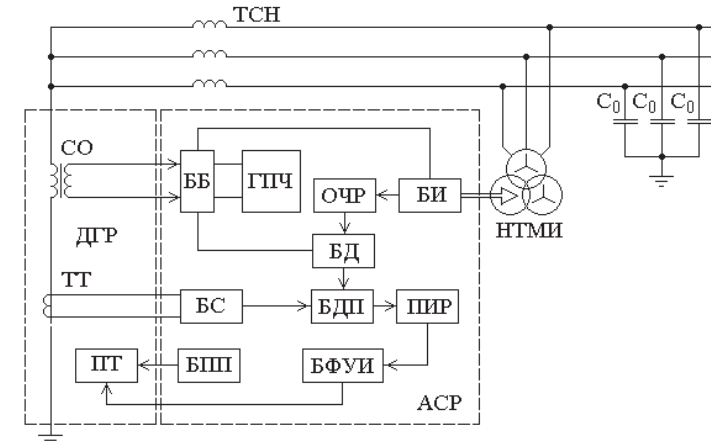


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматического регулирования

В процессе изменения частоты генератора ГПЧ блоком ОЧР определяется резонансная частота. После этого блок БД вычисляет значение ожидаемого тока по соответствующей формуле. При возникновении ОЗЗ последнее вычисленное значение считается уставкой регулятора ПИР. Оно запоминается в блоке БДП. ПИР обеспечивает подмагничивание реактора с помощью блока БФУИ в соответствии с определенным значением емкостного тока сети, откорректированным в соответствии с напряжением на нейтрали в блоке БДП.

При возникновении ОЗЗ генератор ГПЧ отключается от сигнальной обмотки СО реактора ДГР блоком ББ, последнее значение емкостного тока запоминается блоком БДП. Одновременно на БФУИ от регулятора ПИР поступает сигнал управления, соответствующий рассогласованию между измеренным ранее током сети и текущим током реактора, получаемым с выхода блока БС. В первый же момент времени после замыкания ток реактора благодаря предварительному подмагничиванию устанавливается близким к номинальному, а остаточное рассогласование сводится к нулю регулятором ПИР соответствующим углом открытия тиристоров

встроенного преобразователя ПТ. Этим обеспечивается скорейший выход реактора в резонансный режим. По достижении требуемого значения тока реактора, равного зафиксированному ранее току емкостного контура сети, сигнал рассогласования на регулятора ПИР становится нулевым. При этом параметры резонансной настройки поддерживаются до исчезновения или ликвидации персоналом ОЗЗ [8].

Использование ДГР с АСР позволяет обеспечить малый остаточный ток ОЗЗ (не более 1-2 А), а следовательно, отсутствует необходимость в немедленном отключении ОЗЗ. Таким образом, заземление через ДГР следует использовать тогда, когда в сети высок риск появления дуговых ОЗЗ. При этом исключается повреждение измерительных трансформаторов из-за феррорезонансных процессов, а наличие фиксированного значения остаточного тока позволяет правильно организовать селективную работу устройств релейной защиты от ОЗЗ.

Для получения нейтральной точки для подключения ДГР используют специальные трансформаторы и малозагруженные трансформаторы собственных нужд. Один из способов подключения ДГР показан на рисунке 1.

Однако при значительной расстройке компенсации емкостных токов возможно возникновение дуговых перенапряжений. Согласно ПТЭ [9], при эксплуатации дугогасящих реакторов допускается расстройка компенсации не более 5 %. Если этих параметров по разным причинам выдержать не удастся, то следует использовать ДГР с шунтирующим низковольтным резистором или резистивное заземление нейтрали [10].

Схема подключения ДГР с шунтирующим низковольтным резистором приведена на рисунке 1, где для их подключения замыкают ключи К1 и К2.

Схема подключения резисторов в нейтраль также осуществляется с помощью специального заземляющего трансформатора как показано на рисунке 4. Известно несколько вариантов такого подключения. Так на рисунке 4, а резистор подключается к нейтральной точке малозагруженного трансформатора собственных нужд. Иногда практикуется глухое подключение нейтрали заземляющего трансформатора к контуру заземления с подключением резистора во вторичную обмотку, которая соединена по схеме «разомкнутый треугольник». Такое подключение показано на рисунке 4, б. Значительно реже заземление резистором осуществляется с помощью отдельного трансформатора в режиме холостого хода с соединением его обмотки высокого напряжения по схеме «зигзаг» [2]. Этот вид заземления показан на рисунке 4, в.

Возможны высокоомный и низкоомный варианты резистивного заземления нейтрали. При низкоомном заземлении резистор выбирается из условия обеспечения селективности защит от ОЗЗ. Его подключение [10] показано на рисунке 4, в.

Заземление с помощью высокоомного резистора используют в сетях с током ОЗЗ не более 10 А. Что существенно ограничивает область его применения. Варианты включения высокоомного резистора отражены на рисунке 4.

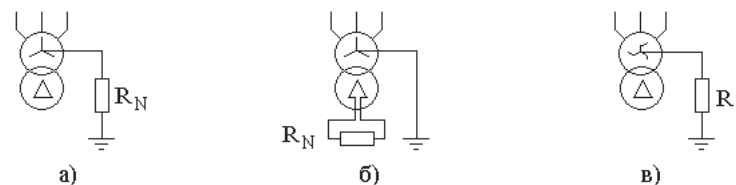


Рисунок 4 – Способы резисторного заземления нейтрали

Резистивное заземление нейтрали позволяет ликвидировать феррорезонансные явления, снизить уровень дуговых перенапряжений и избежать быстрого отключения первого ОЗЗ в сети при высокоомном заземлении нейтрали. Однако такое заземление не приводит к уменьшению тока в месте повреждения при ОЗЗ, а также требует использования резисторов с высокой мощностью рассеивания [10]. Тем не менее, переход от режима изолированной нейтрали к заземлению через резистор наиболее эффективно при металлических ОЗЗ. Анализ возможностей рассмотренных видов заземления нейтрали показывает, что наиболее перспективным и эффективным техническим решением является совместное использование ДГР и резистора. В нормальном режиме к нейтральной точке сети подключен ДГР с системой автоматической настройки и компенсации емкостного тока. При замыкании на землю реактор компенсирует периодическую составляющую емкостного тока и снижает величину перенапряжений. Для определения и отключения места повреждения параллельно реактору кратковременно либо постоянно подключается резистор [11]. Таким образом, как было сказано выше при дуговых замыканиях на землю, будут проявляться все положительные стороны ДГР, а при металлическом замыкании на землю параллельно ДГР подключается резистор для срабатывания защиты от замыкания на землю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лихачев, Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М. : Энергия, 1971 – 151 с.
- 2 Цапенко, Е. Ф. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ. – М. : Энергоатомиздат. 1986 – 128 с.
- 3 Правила устройства электроустановок. – М. : Изд. НЦ ЭНАС, 2003.

4 **Чернобровов, Н. В., Семенов, В. А.** Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.

5 **Берман, И., Крипски, А., Скалка, М.** Защита мощных генераторов, работающих в блоке с трансформаторами, от замыканий на землю в обмотке статора. – В сб.: Релейная защита и противоаварийная автоматика. Международная конференция по большим электрическим системам (СИГРЭ – 72) / Под ред. В. М. Ермоленко, Е. Д. Зейлидзона и А. М. Федосеева. М. : Энергия, 1975. – С. 19 – 26.

6 **Корогодский, В. И., Кужеков, С. Л., Паперно, Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 243 с.

7 **Лихачев, Ф. А.** Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек. – М. : Энергия, 1971.

8 **Брянцев, А. М.** Управляемые подмагничиванием электрические реакторы. Сб. статей. – М. : Знак, 2004. – 264 с.

9 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей/ Госэнергонадзор Минэнерго России. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2003. – 392 с.

10 **Глушко, В., Ямный, О., Ковалев, Э., Бохан, Н.** Белорусские сети 6-35 кВ переходит на режим заземления нейтрали через резистор // Новости электротехники. – № (39) – С. 37-40.

11 **Титенков, С. С.** 4 режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Изолированную нейтраль объявим вне закона // Новости электротехники. – 2003. – № 5(23) – С. 42-44.

Материал поступил в редакцию 17.07.15.

A. N. Novozhilov, Z. B. Issabekov

Жерге бір фазалы тұйықталулар кезіндегі кабельдік тораптардың жұмысының сенімділігін көтеру

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 17.07.15 баспаға түсті.

A. N. Novozhilov, Z. B. Issabekov

Increase of cable networks reliability at monophasе earth-faults

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 17.07.15.

Мақалада кабельдік тораптардың бейтарабы жұмысының мүмкін режимдерін талдау, оны жерлендірудің белгілі тәсілдері

мен сұлбалары, сондай-ақ жекелеген жерлендіруші құрылғыларының конструкциялары мен олармен басқарудың сұлбалары, жерлендірудің әрбір түрінің артықшылықтары мен кемшіліктері және оларды пайдалану бойынша ұсыныстар қарастырылған.

The analysis of the possible operation modes of cable networks neutral is carried out in the article. Well-known methods and charts of its grounding, and also constructions of separate earthing devices and management charts are considered as well as basic dignities and lacks of every type of grounding and recommendation on their use.

УДК 621.311

**А. Б. Хабдуллин¹, З. К. Хабдуллина²,
Г. А. Хабдуллина³, А. Б. Хабдуллин⁴**

¹к.т.н.; ²д.т.н., Рудненский индустриальный институт, г. Рудный; ³магистрант, Костанайский государственный университет имени Ахмета Байтурсынова, г. Костанай; ⁴магистрант, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Астана

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В настоящей статье проведены расчетно-экспериментальные исследования для определения статических характеристик потерь мощности в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором. Исследования проведены для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором разной мощности и при разных коэффициентах загрузки. Показана зависимость потерь мощности при различных коэффициентах загрузки от уровней напряжения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, статические характеристики, потери мощности, коэффициент загрузки, напряжение.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АДК) нашли широкое применение благодаря ряду преимуществ по сравнению с двигателями других типов. Они легче, дешевле, проще в изготовлении и эксплуатации, имеют достаточно высокие КПД и коэффициент мощности.

Отсутствие контактных колец и щеточного аппарата делает эти двигатели наиболее надежными и долговечными [1]

Преобразование электрической энергии в механическую в асинхронном двигателе, как и в других электрических машинах, связано с потерями энергии, поэтому полезная мощность на выходе двигателя P_2 всегда меньше мощности на входе (потребляемой мощности) P_1 на величину потерь ΣP [2]:

$$P_2 = P_1 - \Sigma P \quad (1)$$

Потери ΣP преобразуются в теплоту, что в конечном итоге ведет к нагреву машины. Потери в электрических машинах разделяются на основные и добавочные. Основные потери включают в себя магнитные, электрические и механические.

Потери активной мощности в асинхронных двигателях подразделяются на потери в обмотках статора ΔP_1 , ротора ΔP_2 и потери в стали магнитных систем $\Delta P_{ст}$

$$\Delta P_{д} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_{ст} \quad (2)$$

Потери мощности в двигателях нагрузки практически ничем не отличаются от потерь в элементах электрической сети и поэтому обязательно должны учитываться в статических характеристиках потерь мощности. Следует также помнить, что нагрузочные потери (включая потери в обмотках двигателей) и потери в стали существенно по-разному зависят от напряжения в узле нагрузки. Первые ($\Delta P_{н}$) определяются соотношением

$$\Delta P_{н} \cong \frac{P^2(U) + Q^2(U)}{U^2} R, \quad (3)$$

где $P(U)$ и $Q(U)$ – активная и реактивная мощности, передаваемые через элемент с сопротивлением R , которые увеличиваются с уменьшением напряжения. Вторые ($\Delta P_{ст}$) определяются соотношением

$$\Delta P_{ст} \cong \frac{U^2}{R_m(U)}, \quad (4)$$

где R_m – активное сопротивление ветви намагничивания и уменьшаются с уменьшением напряжения.

От соотношения этих видов потери мощности, которые в конечном итоге определяются коэффициентами загрузки электрических двигателей, существенно зависит вид статических характеристик потерь мощности.

Для исследований статических характеристик потерь мощности рассмотрены на примере асинхронных двигателей. Построены графики

статистических характеристик потерь активной и реактивной мощности высоковольтных и низковольтных АД [3, 4, 5].

На рисунке 1 представлены статические характеристики суммарных потерь активной мощности в высоковольтном асинхронном двигателе АД-5000 ($P_{ном} = 5000$ кВт) при коэффициентах загрузки (K_z) от 0,5 до 1.

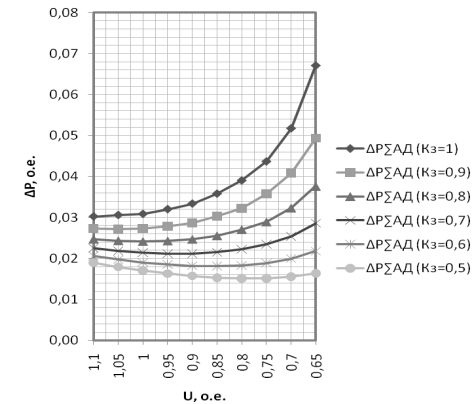


Рисунок 1 – Статические характеристики потерь активной мощности в АД-5000 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 2 представлены статические характеристики суммарных потерь активной мощности в высоковольтном асинхронном двигателе АД-1600 ($P_{ном} = 1600$ кВт) при коэффициентах загрузки (K_z) от 0,5 до 1.

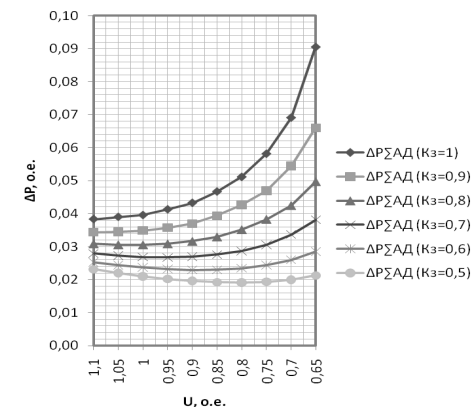


Рисунок 2 – Статические характеристики потерь активной мощности в АД-1600 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 3 представлены статические характеристики суммарных потерь активной мощности в низковольтном асинхронном двигателе А-52-2 ($P_{\text{ном}}=10$ кВт) при коэффициентах загрузки (K_3) от 0,5 до 1

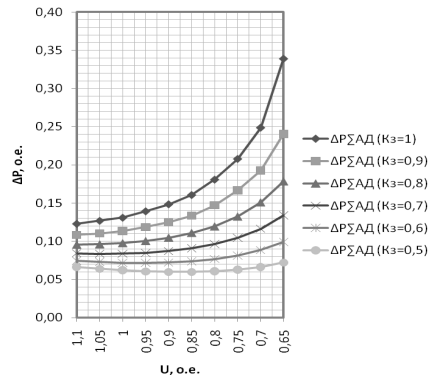


Рисунок 3 – Статические характеристики потерь активной мощности в А-52-2 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 4 представлены статические характеристики суммарных потерь активной мощности в низковольтном асинхронном двигателе АО-112-6 ($P_{\text{ном}}=250$ кВт) при коэффициентах загрузки (K_3) от 0,5 до 1.

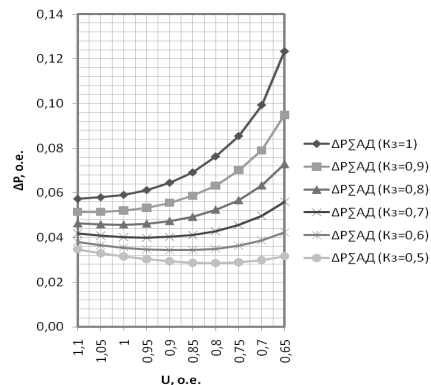


Рисунок 4 – Статические характеристики потерь активной мощности в АО-112-6 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 5 представлены статические характеристики потребления реактивной мощности в высоковольтном асинхронном двигателе

АТД-5000 при коэффициентах загрузки (K_3) от 0,5 до 1. Приняты обозначения: $\Delta Q_{\Sigma \text{АД}} (K_3=1)$ – потребление реактивной мощности в АД при коэффициенте загрузки 1 и т.д.

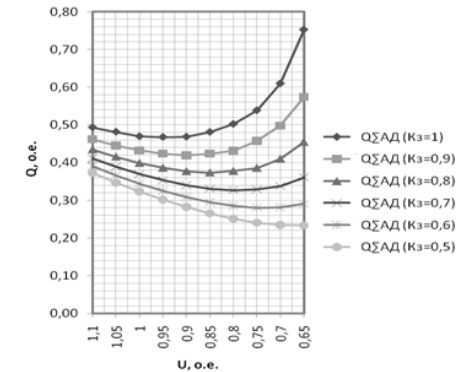


Рисунок 5 – Статические характеристики потребления реактивной мощности в АТД-5000 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 6 представлены статические характеристики потребления реактивной мощности в высоковольтном асинхронном двигателе АТД-1600 при коэффициентах загрузки (K_3) от 0,5 до 1.

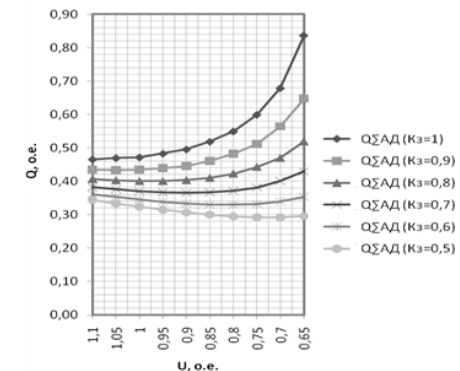


Рисунок 6 – Статические характеристики потребления реактивной мощности в АТД-1600 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 7 представлены статические характеристики потребления реактивной мощности в низковольтном асинхронном двигателе А-52-2 при коэффициентах загрузки (K_3) от 0,5 до 1.

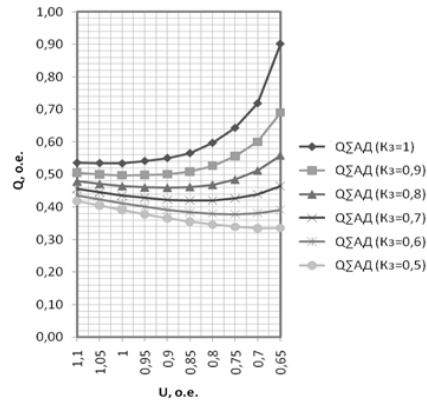


Рисунок 7 – Статические характеристики потребления реактивной мощности в А-52-2 при различных коэффициентах загрузки

На рисунке 8 представлены статические характеристики потребления реактивной мощности в низковольтном асинхронном двигателе АО-112-6 при коэффициентах загрузки (K_z) – от 0,5 до 1..

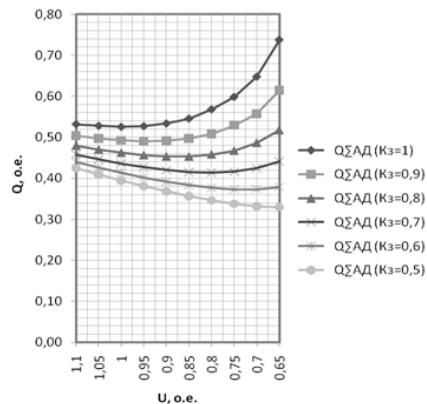


Рисунок 8 – Статические характеристики потребления реактивной мощности в АО-112-6 при различных коэффициентах загрузки

При номинальном напряжении на зажимах асинхронный двигатель, работая с полной загрузкой, потребляет из сети активную и реактивную мощность. В случае изменения напряжения сети активная мощность на валу двигателя остается практически постоянной, изменяются лишь потери активной мощности в двигателе.

Анализ зависимостей изменения величины активных и реактивных потерь для различных типов двигателей от напряжения на их зажимах показывает, что наиболее существенное влияние имеет значение коэффициента загрузки двигателя.

Установлено, что общим для рассмотренных двигателей является увеличение потребляемой реактивной мощности при увеличении подведенного напряжения.

Кроме того, удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки.

При изменении напряжения на зажимах двигателя изменяется скольжение, а следовательно, и скорость вращения.

При снижении напряжения скорость вращения двигателей заметно снижается, особенно для двигателей меньшей мощности. Наоборот, повышение напряжения приводит к увеличению скорости двигателей.

При работе двигателей с малыми коэффициентами загрузки изменения напряжения влияет на скорость двигателей практически очень мало.

При оценке влияния изменения напряжения на экономичность работы асинхронных двигателей следует учитывать стоимость дополнительных потерь электроэнергии, вызванных отклонением напряжения, увеличение реактивной мощности, потребляемой двигателем, а также изменение экономических показателей, связанных с влиянием изменения скорости вращения на производительность соответствующих механизмов.

В настоящее время отсутствует единая методика оценки экономичности работы асинхронных двигателей.

В то же время имеются данные о том, что правильная оценка влияния изменений напряжения на экономичность работы асинхронных электродвигателей в ряде случаев позволяет получить существенный эффект.

Если влияние скорости вращения двигателя на производительность механизмов имеет место, то напряжение на зажимах двигателей должно поддерживаться не ниже номинального при малых коэффициентах загрузки, и в пределах наибольшего допустимого значения при больших коэффициентах загрузки (близких к номинальной).

При отсутствии влияния скорости вращения двигателя на производительность механизмов целесообразно поддерживать напряжение на зажимах двигателей не выше номинального при больших коэффициентах загрузки и ниже номинального при малых коэффициентах загрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гамазин, С. И. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой [Текст]:

Монография/ С. И. Гамазин, В. А. Ставцев, С. А. Цырук. – М. : изд-во МЭИ, 1997. – 424 с.

2 **Кацман, М. М.** Электрические машины [Текст]: Учеб. для студентов сред. проф. учебных заведений/ М. М. Кацман. – 3 изд., испр. – М. : Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 2001. – 463 с.: ил.

3 **Хабдуллин А. Б.** Оптимизация установившихся режимов в системах цехового электроснабжения по критерию минимизации потерь мощности// Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2012. – № 2. – С. 30-35.

4 **Хабдуллин А. Б.** Статические характеристики потерь мощности в электрических сетях Тез. докл. межд. научно-практ. конференции IV-я «Тинчуринские чтения». – Казань, 2009. – С. 213-215.

5 **Khabdullin A, Khabdullina, Z.,** Climate Considerations of the Electricity Supply Systems in Industries, Environmental and Climate Technologies. – №13. – 2014.

Материал поступил в редакцию 14.09.15.

Ә. Б. Хабдуллин¹, З. К. Хабдуллина¹, Г. А. Хабдуллина², А. Б. Хабдуллин³

Қысқа тұйықталу роторымен асинхронды қозғалтқыштардағы қуат шығынының статистикалық сипаттамасы

¹Рудный индустриалдық институты, Рудный қ.;

²А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті, Қостанай қ.;

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті.

Материал 14.09.15 баспаға түсті.

A. B. Khabdullin¹, Z. K. Khabdullina¹, G. A. Khabdullina², A. B. Khabdullin³

Static characteristics of power losses in asynchronous engines with squirrel-cage rotor

¹Rudny Industrial Institute, Rudny;

²A. Baitursynov Kostanay State University, Kostanay;

³S. Seifullin Kazakh AgroTechnical university, Astana.

Material received on 14.09.15.

Аталмыш мақалада қысқа тұйықталу роторы бар асинхронды қозғалтқыштарда қуат шығынының статикалық сипаттамасын анықтау үшін есептік-эксперименталды зерттеу жүргізілді. Зерттеу жүктеме коэффициенттерінің әртүрлілігіне қарай әртүрлі қуаттағы қысқа тұйықталу роторы бар синхронды қозғалтқыштар

үшін өткізілді. Кернеу деңгейіне байланысты әртүрлі коэффициентті жүктемеге қарай қуат шығынының тәуелділігі көрсетілген.

In this article there were considered the computational and experimental studies of determining the static characteristics of the power loss in asynchronous engines with squirrel-cage rotor. The research was carried out for asynchronous engines with squirrel-cage rotor in different capacities and at different load factors. The article shows the dependence of power losses at different load factors by voltage levels.

УДК 621.365.22

В. Ф. Хацевский¹, Т. В. Гоненко², А. А. Ахметшаихов³

¹д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар; ²к.т.н., доцент, кафедра «Электротехника и электрооборудование», Омский институт водного транспорта, г. Омск, Россия; ³магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

ИССЛЕДОВАНИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В статье рассматриваются особенности нестационарных режимов работы электротехнологических установок, приведены результаты их исследований.

Ключевые слова: электротехнологические установки, режимы работы, электропечи, технологические процессы.

Производство продукции в современных электротехнологических установках основано на комплексных процессах, которые определяются нелинейными взаимосвязями электрических, термодинамических, химических, газо– и гидродинамических параметров, самоустанавливающихся в рабочем пространстве электропечей.

Наибольшую сложность протекания взаимосвязанных процессов определило развитие теории в рудовосстановительных электропечах (РВП) на основе критериев подобия, которые позволяют провести перерасчет параметров оптимальных квазистационарных режимов с номинальной мощностью «образцовой» электропечи для электропечей большей мощности

с определением номинальных электрических параметров квазистационарного режима и, что особенно важно, новых геометрических размеров рабочего пространства и электродов для осуществления этих режимов.

В теории РВП понятие «оптимальные режимы» неразрывно связано с геометрическими параметрами конкретного рабочего пространства электропечи, а работающая в оптимальных номинальных режимах электропечь при конкретных конструктивных решениях (диаметр электродов, диаметр распада электродов, диаметр и высота электропечи и др.) при снижении вводимой мощности обеспечивает режимы работы, отличающиеся от рассчитанных по теории подобия РВП.

Для развития теоретического понимания возможных изменений электротехнологических процессов в конкретной электропечи при снижении вводимой мощности были приняты в качестве исходных основные положения самоорганизации электро- и теплообмена, установленные в теории РВП для квазистационарных номинальных режимов и изложенные в научных обобщающих работах А. Н. Попова и В. П. Воробьева. В рабочем пространстве РВП выделяют четыре области преобразования электрической энергии в тепловую: газоплазменная полость – электрическая дуга в подэлектродном пространстве (фазное сопротивление R_o), стенки реакционного тигля (фазное сопротивление R_r), шихта между электродами (линейное сопротивление $R_{ш}$) и шихта между электродами и стенкой футеровки (обобщенное линейно-фазное сопротивление R_{cm}). Для разработки методов длительной эксплуатации РВП в режимах, существенно отличающихся от номинальных с сохранением нормального хода технологического процесса, проведены исследования на промышленных электропечах изменений энергораспределений между различными областями рабочего пространства РВП. Эти изменения определяются электрическими и тепловыми режимами и, следовательно, объемнораспределенными активными и реактивными сопротивлениями этих областей.

При анализе нестационарных режимов работы РВП установлено, что при снижении вводимой мощности происходят изменения электрических, тепловых и технологических процессов, которые включают последовательные периоды по времени протекания с существенно различающимися постоянными времени протекания процессов, определяющих эти периоды режима. Установлены следующие закономерности развития указанных процессов.

1. Для обеспечения нормального хода технологического процесса при любых мощностях необходимо существование самоподдерживающихся газоплазменных подэлектродных областей (закрытой теплоизолированной дуги). Показано, что при снижении вводимой мощности в подэлектродное пространство уменьшается объем газоплазменной полости с сохранением

геометрического подобия, идентичности состава газовой среды, постоянства температуры с последующим самоустанавливающимся квазиравенством объемных плотностей энергии в газоплазменной полости за счет изменения ее объема (рисунок 1). В номинальном режиме, когда обеспечивается соотношение $U_{нол} = CP^n$ при $n = 0,33$ (для выплавки FeSi), напряжение на дуге прямо пропорционально току в узком интервале параметров, когда обеспечивается электрическое, геометрическое и температурно-технологическое подобие.

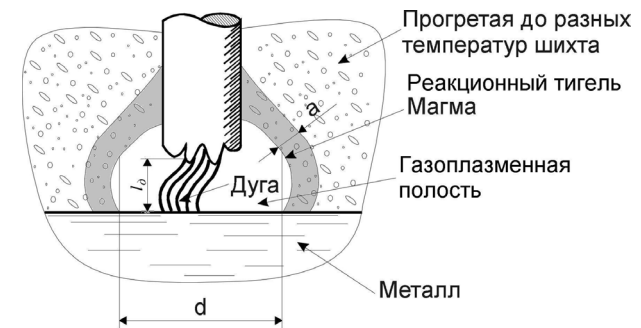


Рисунок 1 – Общая схема строения подэлектродного пространства РВП

Для этого интервала параметров справедлива гипотеза М. Я. Смелянского и А. Н. Попова о постоянстве сопротивления дуги R_d для большинства восстановительных технологий. При снижении или увеличении вводимой мощности в период неустановившихся (переходных) режимов значение n изменяется от 0,25 до 0,5, C – от 0,5 до 0,25. Форма и геометрические размеры проводящих зон (l_o , d , a на рисунке 1) в переходных режимах меняются так, чтобы значения n и C восстанавливались до величин $n = 0,33$ и $C = 0,47 \dots 0,49$. Отличие n и C от этих значений указывает на неустойчивость и отличие от оптимальности протекающих процессов.

Снижение плотности тока на торце электрода и изменение напряжения на дуговом промежутке (U_o/U_m) вызывает появление или увеличение паузы протекающего тока через дугу. За паузу тока принимались участки на осциллограммах, для которых $i_o/i_{max} \leq 8$. При снижении амплитудного значения полезного напряжения на торце электрода до значений, соизмеримых с напряжением на дуге $U_o = U_{a-k} + \beta \cdot l_o$, где U_{a-k} – сумма прикатодного и прианодного падений напряжения, β – градиент потенциала в столбе дуги, l_o – длина дуги, ток через газоплазменную подэлектродную зону становится близким к нулю. Выполненные расчеты энергетического баланса в подэлектродном пространстве при конкретных диаметрах электродов (1200...1900 мм) показали, что поддержание нормального технологического

процесса плавки возможно при снижении вводимой мощности на 25...50 % от номинальной мощности одной фазы электропечи и зависит от диаметра электрода. Доказано, что при уменьшении величины U_{δ}/U_m коэффициент искажения тока изменяется от $K = 0,95$ в номинальном режиме до $K = 0,9$ при мощности $P = 0,75 P_{ном}$ (электропечь РКЗ-21).

2. Сопротивление дуги шунтируется стенками реакционного тигля (R_r) и шихтой между электродами и стенкой проводящей футеровки ($R_{ш}$ и $R_{см}$). При снижении мощности сопротивление реакционного тигля (R_r) становится основным шунтирующим каналом. Анализ этой области основывался на известных расчетно-теоретических результатах исследований: температура в рабочей части тигля для любого рудовосстановительного процесса оптимальна, постоянна и самоподдерживается; любое уменьшение (или увеличение) поступающей в эту область энергии компенсируется изменением скоростей эндотермических реакций восстановления. При изменениях вводимой в эту область энергии за счет токов проводимости (джоулев нагрев) и теплообмена с газоплазменной полостью самоподдерживается квазистационарный температурный режим с одновременным изменением геометрических размеров реакционного тигля (см. рисунок 1) за счет диаметра d , радиальной протяженности слоя a и расстояния между торцом электрода и расплавом (длина дуги l_{δ}). Установлено, что для квазистационарного (номинального) режима сопротивление этой области зависит от 5 параметров: $R_r = f[\rho(T), n, W, I, S]$, где $\rho(T)$ – локальное удельное электрическое сопротивление слоя, n – кратность шлака, W – удельный расход электроэнергии на тонну металлического продукта, I – рабочий ток, S – площадь токонесущего слоя стенок тигля, T – температура в слое. В диссертации показано, что в динамических режимах кроме указанных параметров сопротивление реакционного тигля R_r определяется плотностью энергии, поступающей из газоплазменной полости на внутреннюю поверхность тигля q_s , а площадь токонесущего слоя стенок тигля зависит от изменения d, a, l_{δ} . Изменение по времени $R_r = f(\tau)$ определяется изменением температурного поля; постоянная времени изменения процесса $\tau > 600$ с. Эта область является определяющей для производительности РВП, самоподдерживает оптимальные технологические температуры, а нормальный ход технологического процесса возможен при $q_s \gg 0$.

3. В квазиустановившихся режимах работы исследованных электропечей формы кривых общего тока и напряжения в электрической цепи, содержащей дугу (R_{δ}) и активные линейные сопротивления $R_r, R_{ш}, R_{см}$, являются суммами характерных форм тока и напряжения дуги, а формализованная динамическая вольтамперная характеристика (ВАХ) состоит из двух линейных участков (рисунок 2). Для номинального режима (ВАХ – точки $[o], [c], [e]$) участок A характеризует протекание тока через эквивалентное сопротивление

$R_{\Sigma} \left(\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_r} + \frac{K_1}{R_{ш}} + \frac{K_2}{R_{см}} \right)$, а участок B – протекание тока через дугу (R_{δ}) и сопротивление R_{Σ} . Углы наклона этих участков (α и β) зависят от проводимости $1/R_{\Sigma}$ (α) и суммы проводимостей $1/R_{\delta}$ и $1/R_{\Sigma}$ (β), а форма тока – от отношения сопротивлений R_{δ}/R_{Σ} .

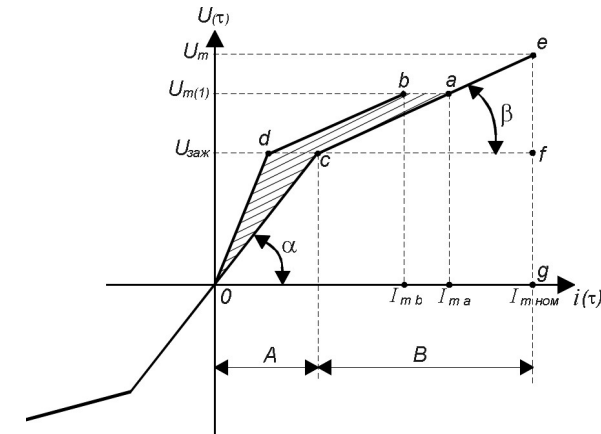


Рисунок 2 – Динамическая вольтамперная характеристика фазы РВП

В начальный период уменьшения вводимой мощности путем снижения напряжения от U_m до $U_{m(t)}$ температурное поле в реакционном пространстве из-за инерционности не изменяется, напряжение зажигания теплоизолированной дуги ($U_{зж}$) близко к квазипостоянной величине. В момент переключения динамическая ВАХ сохраняет свои параметры и устанавливается ток, соответствующий точке $[a] - I_{ma}$. При неизменной длине дуги (l_{δ}) в течении времени неустановившихся режимов за счет изменения температурного поля эквивалентное сопротивление R_{Σ} увеличивается (заштрихованная область на рисунке 2), координата точки $[c]$ перемещается в точку $[d]$, а амплитудное значение тока уменьшается до I_{mb} . При уменьшении длины дуги (поддержание тока I_{ma} автоматическим регулятором) динамическая ВАХ имеет вид $[o], [d], [a]$. Время перехода из одного квазистационарного режима ($P = P_{ном}$) к другому ($P = 0,75 P_{ном}$) для электропечи РКЗ-21 составляет $\tau = 600$ с, для электропечи РПЗ-63 – $\tau = 1000$ с. Продолжительность неустановившегося режима определялась – τ при проведении экспериментов по изменению образующихся продуктов (производительности) и по изменению состава и температуры отходящих газов.

4. Необходимое качество получаемых продуктов при максимуме производительности обеспечивается в РВП при постоянстве критериев электрического и технологического подобия процессов.

$$\varepsilon n = \frac{U_{пол} \cdot d}{I \cdot S_{сп}} = F \left[T_{II}^{m_1} \left(\frac{\gamma_k}{\gamma} \right)^{m_2} \left(\frac{d}{r_0} \right)^{m_3} \right] = const,$$

$$U_{пол} = C \cdot P^n; \quad T_{II} = \beta \cdot q_{кокслик} \cdot C_{MeO} \cdot r_0 / P. \quad (1)$$

Анализ (1) показывает, что для действующей РВП при изменении мощности P в переходном режиме и в последующем – квазиустановившемся, необходимо изменять соотношения составляющих шихты: C_{MeO} – состав шихты в реакционной зоне (содержание MeO в шихте), $q_{кокслик}$ – расход электроэнергии на единицу массы коксика, участвующего в эндотермической реакции с учетом теплосодержания покидающих зону компонентов (производительности печи). При этом необходимо обеспечивать постоянство плотности упаковки коксика в реакционной зоне (γ_k / γ), скорости реакции восстановления в реакционном тигле [$\beta = f(T_{реакт})$], гранулометрического состава шихты (r_0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Хацевский, В. Ф.** Нестационарные режимы работы рудовосстановительных электропечей. – Павлодар : Изд-во «ЭКО», 2001. – 144 с.
- 2 **Хацевский, В. Ф., Хацевская, Т. В.** Теоретические исследования динамической модели нестационарного технологического процесса рудотермической электропечи. //Вестник ПГУ. – 2001. – № 1. – С. 38-43.
- 3 **Хацевский, В. Ф.** Рудовосстановительные электропечи (Расчеты параметров и исследования). – Павлодар : Изд-во «ЭКО», 2002. – 188 с.
- 4 **Хацевский, В. Ф.** Экспериментальные исследования нестационарных режимов работы рудовосстановительных электропечей. //Научный вестник НГТУ. – Новосибирск, 2002. – № 1 (12), – С. 141-150.
- 5 **Чердниченко, В. С., Хацевский, В. Ф.** Проблемы ресурсосбережения при эксплуатации рудовосстановительных электропечей. //Сб. науч. трудов НГТУ «Экологически перспективные системы и технологии. Ресурсосбережение». – 2002. – Вып. 5. – С. 74-86.

Материал поступил в редакцию 11.09.15.

В. Ф. Хацевский¹, Т. В. Гоненко², А. А. Ахметшаихов¹

Электротехнологиялық қондырғылардың жұмысының квазитұрақты және ауысу тәртіптерін зерттеу

¹С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;
²Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ.
Материал 11.09.15 баспаға түсті.

V. Khatsevskiy¹, T. Gonenko², A. Akhmetshaikhov¹

Research of quasistationary and transitional operating modes of electrotechnological installations

¹S. Toraiygyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

²Omsk State Technical University, Omsk.

Material received on 11.09.15.

Мақалада электр технологиялық қондырғылардың жұмысының тұрақсыз тәртіп ерекшеліктері, оларды зерттеу нәтижелері қарастырылған.

In the article there are considered the features of non-stationary operating modes of electrotechnological installations, and the results of the research are given.

А. К. Шайхин¹, С. Далабаев², А. Е. Анарбаев³

¹к.ф.-м.н., профессор, Қ. И. Сәтпаев атындағы қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан; ²PhD, профессор, Синьцзян университетінің информатика және инженерия институты, Үрімші, Қытай; ³докторант PhD, Қ. И. Сәтпаев атындағы қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

АҚПАРАТ ЖІБЕРУ ЖЕЛІСІНДЕ АСА ҚЫСҚА ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИМПУЛЬС ӘСЕРІНІҢ ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕМЕСІ

Мақалада ақпарат жіберу желісінде аса қысқа электромагниттік импульс әсерінің талдау әдістемелік тәсілдеме нәтижелері көрсетілген.

Кілтті сөздер: электромагниттік импульстар, кедергілер, арнайы күштік электромагниттік әсері, Ethernet технологиясы.

Жарияланымдарын шолу зерттелетін мәселе бірнеше факторға байланысты аз зерттелгенін көрсетеді. Біріншіден, осы мәселені зерттейтін мамандар өте аз, және де өзара жеткіліксіз әрекеттеседі. Екіншіден, осы салада көпшілік жұмыстар тікелей телекоммуникациялық жүйеге арнайы күштік электромагниттік әсерін (АК ЭМӘ) зерттейді, ал жіберу дереккөз желісінің әсерін жеке мәселе ретінде қарастырылмайды. Үшіншіден, Қазақстанда және шетелде табиғи сынақтарды қоюға және көрілетін әсерлерді алуға үлкен назар аударады, бірақ авторлар бұл құбылыстардың физикалық және ақпараттық қалыптасу механизмнің терең түсінбейді. Процесс мәнінің сапалық түсінушілікке емес, есептік нәтижелерге талпыныс байқалады.

Дереккөзді жіберудің желі байланыс жолдарында аса қысқа электромагниттік импульс (АҚИ ЭМС) әсерін зерттеулерде шетелдік басылымда жарияланған әдістемелік тәсілдемелерін көрсетейік. Осы зерттеулерді үш әдістемелік тәсілдемелерді ерекшелуге болады:

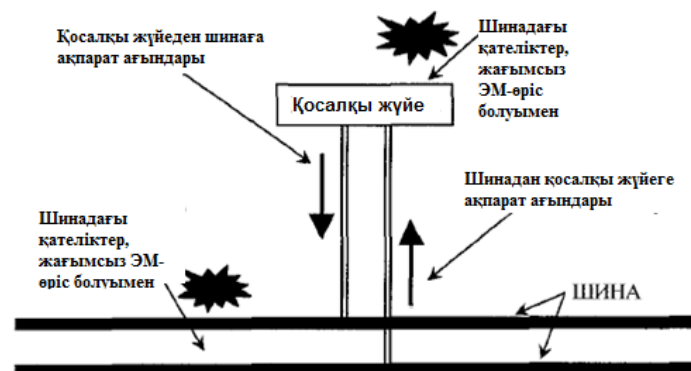
1) АҚИ ЭМС әсер желіде болатын процестерді сипаттайтын математикалық аппарат немесе имитациялық модель ұсынылады;

2) Эксперимент және оның нәтижелері жүргізіледі;

3) Эксперимент нәтижелерімен расталған математикалық аппарат немесе имитациялық модель, яғни кешенді тәсілдер ұсынылады.

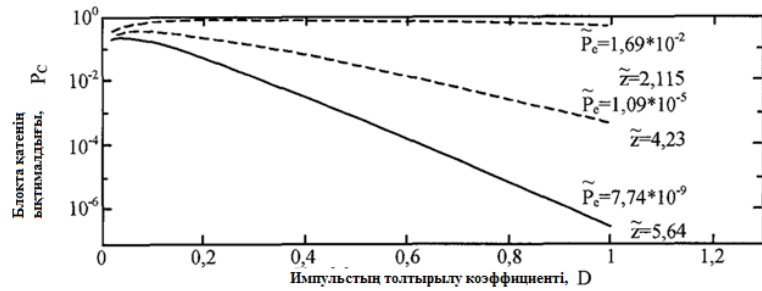
Шетелде зерттеулердің бірінші бағыт идеологы танымал американ ғалымы Ira Kohlberg болады. Оның соңғы 10 жылда жарияламдарының

шолуы [1, 2, 3] ақпараттық инфрақұрылымның маңызды жүйелері және ЖЕЖ осалдығын бағалау үшін есептеу әдістерінің дамуын көрсетеді. Қаралған мақалалардың көпшілігінде ең үлкен қауіп-қатер амплитуда-уақытша сипаттамасы қазіргі электрондық жүйелердің жұмыс сигналының мінездемесіне ұқсас арнайы электромагниттік әсерлер болады. Ең маңызды ақпарат [4] көрсетілген, онда Ira Kohlberg арнайы электромагниттік әсерлерге нақты уақытындағы автоматтандырылған жүйелердің қабылдағыштығын бағалаудың жаңа теориялық тәсілді ұсынды. Мұндай жүйеге АК ЭМӘ әсерін 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Шинаға қосылғанда қосалқы жүйенің биттік қателері

Автормен ұсынылған математикалық модель электромагниттік әсердің параметрлерге байланысты ақпараттық жүйенің тоқырау критерийін орнатуға мүмкіндік береді. Ұсынылған қатынасқа сәйкес, тоқырау критерий биттік қателіктер, блоктар бойынша қателіктер және уақытша кідіру ықтималдықтардан бағынышты болады. Әсерлі импульстің толтыру коэффициенті блоктар бойынша қателік тәуелдігін 2 суретте көрсетілген.

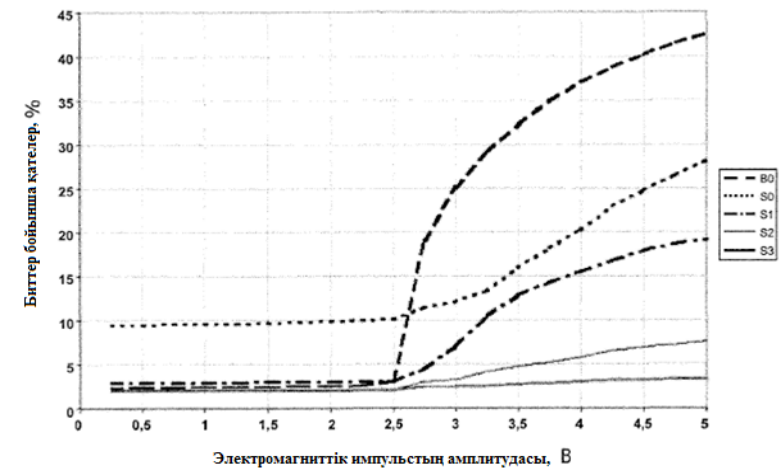


Сурет 2 – D импульс толтыру коэффициентінен P блока қателіктер ықтималдығынан тәуелділігі

Мақалада АК ЭМӨ-ге нақты уақыттағы автоматтандырылған жүйелердің орнықтылық зерттеудің жалпы тәсілдер берілген.

[5] жұмыста имитациялық SPACE-модельдеумен қолданылған цифрлік сұлба элементтеріне электромагниттік кедергінің әсері қарастырылған. АК ЭМӨ пайдалы цифрлік сигналдардың үстіне салынатын периодты қайталанатын импульс түрдегі шу сияқты модельденеді. Электрлік сұлба, сонымен бірге оның жеке элементтеріне толық модельдеу жүргізіледі. Space-модельдеу нәтиже бойынша әр түрлі жиілікте, амплитудада және ұзақтықпен периодты қайталанатын импульстар әсерлердегі биттер бойынша қателіктер анықталады. Мақалада екі цифрлік элементтер қарастырылады: КМОП-инвертор және 4-биттік сумматор, әсер ететін кедергі параметрлерге байланысты олардың өзгеріс жағдайының (биттік қателік) шегі анықталады.

3 суретте кедергінің әсер ететін кернеуден сумматордағы биттер бойынша қателіктер тәуелділігі көрсетілген. Амплитуда 5 В, жүру жиілігі 100 МГц цифрлік сигнал параметрлері сумматор арқылы жіберілген сұлба қарастырылған. «ВО» сумматор кіруіне жүру жиілігі 500 кГц және амплитуда 2,5 В сигнал кедергісі жіберіледі.

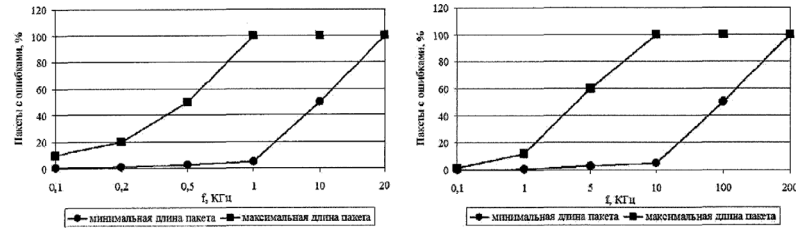


Сурет 3 – Кедергінің кернеуінен биттер бойынша қателіктер тәуелділігі

Цифрлік сұлбада биттер бойынша қателіктер санын кеміту үшін, кедергінің жүру жиілігі және цифрлік сигнал бір-бірінен өзгеше болуы керек. 500 кГц жүру жиілігінде және 2,5 В аспайтын амплитудада КМОП-инвертор және 4-биттік сумматорда ең үлкен биттік қателіктер болады.

Модельдеу негізіндегі АК ЭМӨ-дағы жіберу дереккөздің тұрақты желілерді жобалайтын отандық мамандардың жарияламдарынан [6, 7] мақалаларды атауға болады. Модельдеудің алынған нәтижелері көрсетеді: электромагниттік кедергінің максималды деңгейі (1,5 В) жергілікті желінің дереккөз пакетінде жалған ақпараттық сигнал (ақпараттық сигналдың деңгейі ± 1 В) пайда болу мүмкіндіне әкеледі.

Мысал ретінде авторлар сыртқы жоғары жиілікті импульсты электромагнитті әсерде Fast Ethernet желіде жақындатылған болжаудың нәтижелері көрсетілген. Ethernet сипаттамасының бастапқы деректер: 10Base-T, 100Base-TX; пакеттің ұзындығы - минималды 64 байт, максималды 1518 байт. Электромагниттік сәулелену (ЭМС) әсердің қайталану жиілігін ескергенде, пакеттің бақылаушы қосындының қателіктеріне алып келетін ақпараттық сигналдың пакет деректері енгізіледі. Мұндай пакеттер алынып тасталады және олардың қайта жіберу талап етіледі. Кедергі импульсінің жүру жиілігінен Ethernet / Fast Ethernet желі үшін пакеттің минималды және максималды ұзындық процент жоғалтуларға тәуелділігін 4 суретте көрсетілген.



а)

б)

Сурет – ЭМС әсер еткенде бұралмалы жұп экрандалмаған неізіндегі жергілікті желінің электромагниттік орнықтылықты болжамдау (а – Ethernet желісі; б – Fast Ethernet желісі)

Кабельді желісі арқылы электрондық аппаратураға аса қуатты электромагниттік импульстің бүлдіргіш әсері жаңа еліктеу принцип [8] мақалада қарастырылады. Авторлармен «интегралдық импульс» принцип ұсынылады, ол бір мезгілде үш атқарылатын жағдайға негізделген:

1. ЭМС индукциялық түрлендіру процесі үшін ұқсастықтың уақыттық және кеңістіктік критерий тәсіліне сәйкес салыстырмалы аз қуатты ЭМС дереккөз електіретін кабельді фрагментке электромагнитиндукциялық, толқындық немесе құрамалы әдіспен әсер ету керек.

2. Қуатты индукцияланған кондуктивті ЭМС $U_{ЭМС}(t)I_{ЭМС}(t)$ электрондық объектіге тікелей әсер ету немесе кемірек қуатты импульстан $u_{u(t)}$ немесе сол пішінді $i_{u(t)}$ уақыттық тізбегінің n энергия әсерінің жиынтық эквивалентін електіреді, яғни

$$W_{\Sigma} = \int_0^{t_{ЭМС}} I_{ЭМС}(t) \times U_{ЭМС}(t) dt = n \times \int_0^{t_u} u_u(t) \times i_u(t) dt$$

3. Әрбір n електіретін импульсінің энергиясы зерттелетін электрондық объектілердің бастапқы қайтымсыз микроқұрылым бұзулудың критикалық деңгейден асуы керек: $\int_0^{t_u} u_u(t) \times i_u(t) dt > W_{крит.}$

Әрбір жеке электр қозғағыш күш үшін кабель фрагментінің беріліс функциясының талдауын ұсынылған есеп қатынастардың негізінде жасауға болады.

Бірінші әдістемелік тәсілдеме жұмысының кемшіліктері:

– деректерді жіберудің бар технологиялары бойынша кешенді зерттеулердің жоқтығы;

– жеткілікті деңгейде абстракция және зерттеу имитациялық модельдің жоқтығы;

– заманауи жіберу деректерді жоғары жылдамдықты желінің өнімділік төмендеуін ескеретін математикалық аппараттың жоқтығы.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **Boling, R., Kohlberg, L.** Effects of Unwanted Electromagnetic Signals on Message Signaling, presented at USNC-URSI National Radio Science Meeting, Boulder, Colorado, January 8-12. – 2002.

2 **Kohlberg, L, Toton, E.** Advanced Concepts for Evaluating Susceptibility and Survivability of Large Infrastructure Networks against IEMI / L. Kohlberg. – Electromagnetics in Advanced Applications. – ICEAA 2007. – International Conference. – P. 760-763.

3 **Kohlberg, L, Baum, C. E., Gird, D. V.** Adverse electromagnetic effects on large networks Antennas and Propagation (APSURSI) / L. Kohlberg // 2011 IEEE International Symposium. – 2011. – P. 599-602.

4 **Kohlberg, L, Carter, R.** Some Theoretical Considerations Regarding the Susceptibility of Information Systems to Unwanted Electromagnetic Signals / L. Kohlberg // Proceedings of the 14* International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zurich, Switzerland. – 2001. – P. 41-46.

5 Analysis of High-Power RF Interference on Digital Circuits David Yang, R. Kollman Electromagnetics. – Vol. 26. – 2006. – № 1. – P. 87-102.

6 **Гизатуллин, З. М.** Моделирование электромагнитных помех в неэкранированной витой паре при внешнем гармоническом электромагнитном воздействии / З. М. Гизатуллин, С. Ф. Чермошенцев // Информационные технологии. – 2010. – № 6. – С. 2-7.

7 **Гизатуллин, З. М.** Технология прогнозирования и повышения электромагнитной совместимости цифровых электронных средств при внешних высокочастотных импульсных электромагнитных воздействиях / З. М. Гизатуллин // Технологии ЭМС. – 2010. – № 3 (34). – С. 22-29.

8 **Булеков, В. П.** Новый принцип имитации деструктивного воздействия сверхмощных электромагнитных импульсов на электронную аппаратуру через кабельные линии (принцип «интегрального импульса») / В. П. Булеков, С. Б. Резников, В. Г. Болдырев и др. // Компоненты и технологии. – 2006. – № 10. – С. 174-176.

Материал 17.09.15 баспаға түсті.

А. К. Шайхин¹, С. Далабаев², А. Е. Анарбаев¹

Методические подходы к анализу воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов в сетях передачи информации

¹Казахский национальный исследовательский технический университет, г. Алматы, Казахстан;

²Институт информатики и инженерии Синьцзянского университета, Урумчи, Китай.

Материал поступил в редакцию 17.09.15.

A. K. Shaikhin¹, S. Dalabaev², A. E. Anarbayev¹

Methodological approaches to the analysis of the ultrashort electromagnetic pulses impact in the information networks

¹Kazakh National Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan;

²School of Information Science and Engineering of Xinjiang University, Urumqi, China.

Material received on 17.09.15.

В статье приведены результаты методических подходов к анализу воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов в сетях передачи информации.

The results of methodological approaches to the analysis of the ultrashort electromagnetic pulses impact in information transfer networks.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА
(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)

1. В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с межстрочным интервалом 1,5, 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».

2. Общий объем статьи, включая аннотацию, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **8-10 страниц**.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

4. Периодичность издания журналов – 4 раза в год (ежеквартально)

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;
2. Инициалы и фамилия (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках, абзац по левому краю;
3. Название статьи – на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац по левому краю;
4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль – 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см, интервал 1,0 (см. образец);
5. Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).
6. Межстрочный интервал 1,5 (полупетерный);
7. Список использованной литературы (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).

На отдельной странице

В бумажном и электронном вариантах приводятся:

– название статьи, сведения об авторе: Ф.И.О. полностью, ученая степень, ученое звание и место работы на казахском, русском и английском языках (для публикации в разделе «Наши авторы» и «Содержание»);

– полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

1. 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.

2. Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

3. Автор просматривает и визирует грани статьи и несет ответственность за содержание статьи.

4. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

5. Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге.**

6. Статью (бумажная, электронная версии, оригинал 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), факс: 8 (7182) 67-37-05.

E-mail: kereky@mail.ru

Наши реквизиты:

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 TSESZKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZKZK X Кбе 16 Код 16 КНП 861

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

УДК 316:314.3

А. Б. Есимова

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.

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.

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 – Показатели репродуктивного поведения

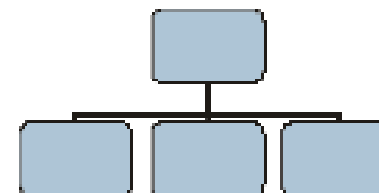
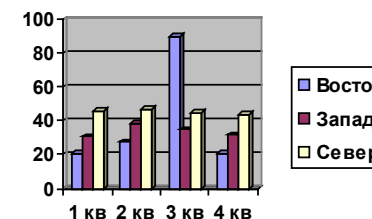


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

Место работы автора (-ов):

Международный Казахско-Турецкий университет имени
Х. А. Яссави, г. Туркестан.
Материал поступил в редакцию 22.04.15.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық
қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.
Материал 22.04.14 редакцияға түсті.

А. В. Yessimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

К. А. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.
Material received on 22.04.15.

Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық-туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықты айырмашылықтарын талдайды.

In the given article the author analyzes distinctions of reproductive behavior of married women of Kazakhstan through the prism of the kinship networks.

Теруге 18.09.2015 ж. жіберілді. Басуға 23.09.2015 ж. қол қойылды.
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 7,08 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Р. Омарова, З. С. Исакова
Тапсырыс № 2677

Сдано в набор 18.09.2015 г. Подписано в печать 23.09.2015 г.
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 7,08 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Р. Омарова, З. С. Исакова
Заказ № 2677

«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: kereky@mail.ru